А. С. Моргулев и Е. К. Сонин

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ



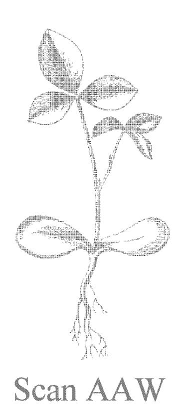
·ЭНЕРГИЯ·

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 669

А. С. МОРГУЛЕВ и Е. К. СОНИН

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ





«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1968

6П2.15
М79

УДК 621.43.044.8

Моргулев А. С. и Сонин Е. К.

М79 Полупроводниковые системы зажигания. М., «Энергия», 1968.

64 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, Вып. 669).

В книге описаны электронные устройства на транзисторах и тиристорах, позволяющие существенно улучшить эксплуатационные характеристики системы зажигания и двигателя автомобиля. Описаны измерительные электронные приборы, применение которых упрощает обслуживание и регулировку системы зажигания и отыскание неисправностей в ней. Книга предназначена для радиолюбителей-конструкторов, интересующихся автомобильной техникой.

3-4-5
347-68

6П2.15

Моргулев Александр Сергеевич и Сонин Евгений Константинович

Полупроводниковые системы зажигания

Редактор *А. А. Бурачков*
Обложка художника *А. М. Кувшинникова*
Техн. редактор *В. Н. Малькова*
Корректор *А. Д. Халанская*

Сдано в набор 22/XI 1967 г. Подписано к печати 18/II 1968 г. Т-00059
Формат 84×108¹/₃₂ Бумага типографская мелованная
Усл. печ. л. 3,36 Уч.-изд. л. 4,41
Тираж 40 000 экз. Цена 19 коп. Зак. 637

Издательство „Энергия". Москва, Ж-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главполиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Принципы, положенные в основу автомобильной системы зажигания, имеют такой же почтенный возраст, как и сам автомобиль. Многие десятилетия отшлифовали конструкцию системы, параметры и характеристики ее элементов. И сегодня электромеханическая система зажигания практически достигла в своем развитии принципиального предела. А требования, диктуемые развитием автомобильной техники, все возрастают. Современные автомобили должны иметь все более высокооборотные, экономичные и надежные двигатели, способные легко заводиться и безотказно работать в любых условиях эксплуатации.

Это заставило специалистов искать новые пути решения задач, поставленных перед системой зажигания, путем использования последних достижений электронной техники и пересмотра некоторых основных принципов, положенных в основу современной системы зажигания. В настоящее время наметились два основных направления модернизации систем зажигания:

разделение функций синхронизации системы зажигания и коммутации первичного тока с передачей последней транзисторному коммутатору;

разделение функций накопления энергии и повышения напряжения зажигания с передачей функции накопителя специальному накопительному конденсатору.

Дальнейшим развитием этих направлений является полный отказ от механических элементов в системе зажигания: замена контактов и кулачка прерывателя электромагнитным синхродатчиком, замена механической системы коррекции угла опережения зажигания электронной системой и т. д. Все эти системы зажигания получили общее название «электронные системы зажигания».

В настоящее время в Советском Союзе и за рубежом разработаны и эксплуатируются на серийных автомобилях многие варианты приборов зажигания, представляющие оба направления. Разработчики электронных систем зажигания называют следующие преимущества таких систем перед электромеханическими: универсальное применение на всех типах двигателей внутреннего сгорания, в том числе на гоночных и спортивных; выходное напряжение 30—50 *кв* при всех режимах работы двигателя; ток, прерываемый контактами прерывателя, не более 1 *а*; быстрый и плавный набор скорости, без сбоев в работе двигателя; увеличение максимальной скорости двигателя на 10—30%; отсутствие разогрева контактов прерывателя и полное сгорание топлива при медленной езде в городе; полное сгорание топлива на больших скоростях; экономия горючего до 10%; уменьшение разряда аккумулятора за счет легкого запуска; облегченный запуск двигателя рукояткой при отрицательных температурах; исключение конденсатора прерывателя, подверженного пробою.

В числе основных недостатков электронной системы зажигания называют высокую стоимость прибора, иногда его сложность, и большую мощность, потребляемую системой.

Описанные в брошюре электронные системы зажигания с использованием транзисторных коммутаторов первичного тока объединены общим названием «транзисторные системы зажигания», а системы зажигания с конденсаторным накопителем объединены названием «конденсаторные системы зажигания».

ОГЛАВЛЕНИЕ

ГЛАВА ПЕРВАЯ

ТРАНЗИСТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

1. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ АВТОМОБИЛЯ

Система зажигания автомобиля предназначена для генерации импульсов высокого напряжения, вызывающих вспышку горючей смеси в камере сгорания двигателя, синхронизации этих импульсов с фазой двигателя и распределения сфазированных импульсов зажигания по цилиндрам двигателя. Обычно все эти функции выполняет электромеханическая система, схема которой приведена на рис. 1.

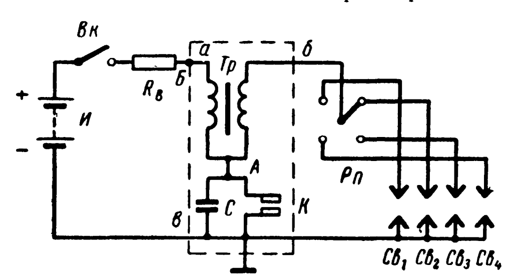


Рис. 1. Схема электромеханической системы зажигания.

На схеме показаны основные элементы системы зажигания:

источник тока *И*, функции которого выполняет аккумуляторная батарея;

выключатель цепи питания системы зажигания *Вк*, обычно называемый замком зажигания;

вариатор $R_в$, являющийся балластным резистором, сопротивление которого изменяется прямо пропорционально среднему значению тока первичной цепи;

катушка зажигания *Тр*, выполняющая функции накопителя энергии и преобразователя низкого напряжения в высокое;

контактный прерыватель тока *К*, специальным кулачком синхронизируемый с валом двигателя;

искрогасящий конденсатор *С*;

распределитель импульсов высокого напряжения по соответствующим цилиндрам двигателя **Рп**;

запальные свечи *Св*, формирующие в воздушном зазоре искровой разряд для зажигания горючей смеси.

При замыкании первичной цепи зажигания выключателем *Вк* (момент *0* на рис. 2) ток от батареи *И* протекает через вариатор $R_в$, первичную обмотку катушки зажигания *Тр* и замкнутые контакты прерывателя *К*. Протекающий по первичной обмотке катушки зажигания ток создает вокруг ее витков нарастающий по величине магнитный поток, который в свою очередь пересекает витки первичной обмотки, вследствие чего в ней возникает э. д. с. самоиндукции, направленная против тока первичной цепи и, следовательно, замедляющая его нарастание (кривая *1* на рис. 2). Обычно ток в первичной цепи достигает максимального значения за несколько миллисекунд. Его величина может быть определена из соотношения

$$I_{макс} = \frac{E}{r_к + r_в},$$

где $I_{макс}$ — максимальный ток в первичной цепи;

E — напряжение батареи *И*;

$r_к$ — активное сопротивление первичной обмотки катушки зажигания;

$r_в$ — сопротивление вариатора.

Практически величина максимального тока первичной цепи составляет около 4 *а*. При этом в катушке накапливается энергия магнитного поля, величина которой определяется параметрами первичной цепи.

$$W_L = \frac{L I^2_{макс}}{2},$$

где W_L — энергия магнитного поля;

L — индуктивность первичной обмотки катушки зажигания.

Если теперь вал двигателя поворачивается (рукояткой, стартером или по инерции), то в какой-то момент времени контакты прерывателя *К* разомкнутся под действием кулачка, механически связанного с валом. При размыкании контактов прерывателя (момент t_1) магнитный поток первичной обмотки резко уменьшится. При пересечении витков первичной обмотки катушки зажигания *Тр* уменьшающимся магнитным потоком в ней возникает э. д. с. самоиндукции, задерживающая моментальное исчезновение тока в первичной цепи. Длительность задержки исчезновения тока пропорциональна значению э. д. с. самоиндукции, которая в свою очередь зависит от значения индуктивности первичной обмотки катушки зажигания.

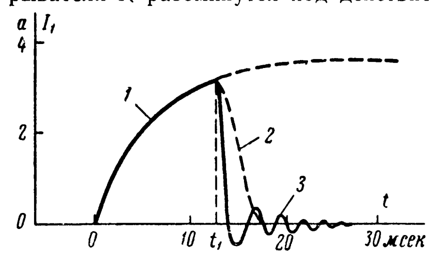


Рис. 2. Изменение тока за один цикл зажигания.

Так как при размыкании контакты прерывателя расходятся не мгновенно, а постепенно, то поддерживаемый в первичной обмотке катушки зажигания ток в течение некоторого времени продолжает

протекать через зазор между контактами прерывателя. Помимо окисления поверхностей и физического разрушения контактов, это явление приводит также к дополнительному затягиванию тока, что равноценно уменьшению скорости исчезновения магнитного потока в первичной обмотке.

Для предохранения контактов прерывателя от дугового разряда параллельно им включают конденсатор *C*. В момент размыкания контактов прерывателя конденсатор всегда полностью разряжен. Поэтому его сопротивление току первичной обмотки значительно меньше, чем сопротивление воздушного промежутка между контактами прерывателя, и весь ток идет на заряд конденсатора.

Для уменьшения опасности возникновения дугового разряда между контактами прерывателя при самых малых оборотах двигателя, когда скорость размыкания контактов наименьшая, емкость конденсатора должна быть наибольшей. Однако поддержание тока первичной обмотки катушки зажигания при большой емкости приводит к уменьшению скорости исчезновения магнитного потока (кривая *2* на рис. 2). Далее будет показано, что следствием этого является уменьшение выходного напряжения, что также недопустимо. Емкость конденсатора *C* выбирается с учетом этих противоречивых факторов и имеет обычно значение 0,17—0,35 *мкф*. Это значит, что при приемлемой величине выходного напряжения остается опасность образования дугового разряда между контактами прерывателя на самых малых оборотах двигателя.

Разряд конденсатора происходит через первичную обмотку катушки зажигания. Импульс тока разряда конденсатора противодействует току первичной обмотки катушки зажигания, что способствует увеличению скорости исчезновения магнитного потока. Электродвижущая сила самоиндукции при этом достигает 200—300 *в*, а индуктируемое напряжение во вторичной обмотке катушки зажигания достигает 12—26 *кв*, что обеспечивает пробой искрового промежутка в свече зажигания. Достаточно высокое выходное напряжение, обеспечивающее искровой разряд между электродами свечи, поддерживается в течение некоторого времени за счет колебательного процесса в контуре, образованном конденсатором и первичной обмоткой катушки зажигания (кривая *3* на рис. 2).

Длительность искрового разряда зависит от количества энергии, накопленной в первичной обмотке катушки зажигания.

Вал двигателя продолжает проворачиваться, и в какой-то момент кулачок освобождает подвижный контакт прерывателя. Под действием возвратной пружины контакты замыкаются и в первичной обмотке восстанавливается ток, максимальное значение которого определяется полным сопротивлением цепи.

Однако при работе двигателя на больших оборотах интервал между моментами замыкания и последующего размыкания контактов прерывателя становится соизмеримым с постоянной времени первичной цепи. Так, при работе шестицилиндрового двигателя со скоростью 5 000 *об/мин* интервал времени, в течение которого контакты замкнуты (в одном цикле), составляет всего 2 *мсек*. В то же время постоянная времени первичной цепи при индуктивности катушки зажигания 5 *мгн* и активном сопротивлении цепи 1 *ом* достигает 5 *мсек*. Поэтому на больших скоростях двигателя ток в катушке зажигания не успевает возрасти до максимального значения к моменту размыкания контактов. В силу этого накопленная катушкой зажигания энергия, а следовательно, и величина выход-

ного напряжения уменьшаются с увеличением оборотов вала двигателя.

Возможность увеличения тока первичной цепи для получения более высокого выходного напряжения ограничена долговечностью контактов прерывателя. Опыт эксплуатации автомобильных систем зажигания показал, что эксплуатационная долговечность контактов зависит от значения прерываемого ими тока. При малых токах долговечность контактов (время их бесперебойной работы) мала, так как любое незначительное загрязнение контактов приводит к повышению их переходного сопротивления и нарушает работоспособность системы зажигания. Если же ток через контакты превышает 4—5 *а*, то причиной выхода контактов из строя становится окисление поверхности контактов из-за значительной рассеиваемой мощности и нарушение плоскости соприкосновения контактов вследствие их эрозии. В результате эрозии контакт из плоскостного превращается в точечный и его переходное сопротивление резко возрастает. Если гарантируемую долговечность контактов в электромеханической системе зажигания считать допустимой, то можно принять, что интервал рабочих токов через контакт лежит между значениями примерно от 0,25 *а* до 4 *а*. Наибольшая долговечность имеет место при токах около 1 *а*.

Увеличение индуктивности первичной обмотки катушки зажигания для повышения накапливаемой энергии вступает в противоречие с требованием увеличения скорости изменения магнитного потока и с необходимостью иметь малую постоянную времени накопления энергии для уверенной работы на больших скоростях.

Увеличение коэффициента трансформации катушки зажигания при относительно высокой индуктивности первичной обмотки (5—10 *мгн*) сопровождается недопустимым увеличением паразитной межвитковой емкости вторичной обмотки, опасностью межвиткового пробоя, трудностями конструктивного характера.

Скорость прерывания тока в первичной цепи, определяемая скоростью размыкания контактов, величиной зазора и емкостью конденсатора, практически также достигла своего предела.

Использование в системе зажигания последних достижений электронной техники позволило преодолеть перечисленные ограничения. Все описанные ниже модификации системы зажигания относятся исключительно к элементам, расположенным внутри ограниченного пунктиром прямоугольника на рис. 1. Элементы, не входящие в этот прямоугольник, являются общими для всех схем, а потому в последующих схемах они не приводятся и в тексте не упоминаются.

2. ТРАНЗИСТОРНАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

Наивыгоднейшие условия работы контактов прерывателя при одновременном увеличении тока первичной обмотки катушки зажигания до значений, определяемых требованием бесперебойного искрообразования в свечах во всем рабочем диапазоне оборотов двигателя, достигаются путем разделения функций синхронизатора и прерывателя тока первичной цепи. Синхронизация транзисторной системы зажигания с двигателем осуществляется, как и ранее, контактами прерывателя. Вырабатываемые контактами прерывателя сигналы

синхронизации осуществляют управление транзисторным коммутатором тока первичной обмотки. Параметры коммутатора (входной ток, коэффициент усиления) выбираются такими, чтобы контакты прерывателя работали при токах, обеспечивающих максимальную эксплуатационную долговечность.

Коммутатор прерывает ток, протекающий через первичную обмотку катушки зажигания. В качестве коммутатора используется мощный транзистор или комбинация транзисторов. Такой коммутатор обеспечивает прерывание необходимого тока с достаточным быстродействием.

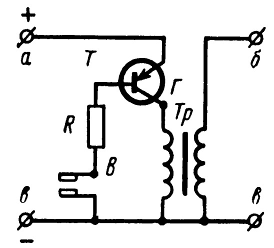


Рис. 3. Схема транзисторной системы зажигания.

Схема транзисторной системы зажигания изображена на рис 3. Контакты прерывателя подключены здесь в цепь базы мощного транзистора, а первичная обмотка катушки зажигания — в цепь коллектора транзистора, коммутируемого за счет изменения сопротивления участка эмиттер — коллектор. Транзистор работает в ключевом режиме, позволяющем пропускать через него большие токи.

Для получения минимальной постоянной времени цепи первичного тока транзистор при пропускании тока должен быть в режиме насыщения. Для этого при замыкании контактов прерывателя должно удовлетворяться условие:

$$i_б \geqslant i_к \frac{1-\alpha}{\alpha} = \frac{i_к}{\beta},$$

где $i_б$ — ток базы (управляющий);

$i_к$ — рабочий ток коллектора;

α — коэффициент усиления по току транзистора в схеме с общей базой;

β — коэффициент усиления по току транзистора в схеме с общим эмиттером.

При выполнении этого условия падение напряжения на участке эмиттер — коллектор $\Delta U_{э\,к}$ транзистора за счет первичного тока составляет 0,3—0,6 *в*.

При размыкании контактов прерывателя, когда ток в цепи управления отсутствует, внутреннее сопротивление участка эмиттер — коллектор транзистора резко возрастает и ток через транзистор практически прекращается. В связи с этим, несмотря на большую мощность, коммутируемую транзистором, на самом транзисторе в ключевом режиме рассеивается незначительная мощность. Значительные потери мощности, вызывающие перегрев транзистора, происходят в этом режиме в моменты переключения транзистора из проводящего состояния в непроводящее и наоборот, так как в эти моменты сопротивление участка эмиттер — коллектор велико, а транзистор продолжает пропускать большие токи. Поэтому в транзисторной системе зажигания требования к минимальному времени переключения тока обусловлены не только необходимостью получения высокого выходного напряжения, но и необходимостью улучшения теплового режима транзистора.

Включение параллельно контактам прерывателя конденсатора в этом случае становится даже вредным, так как перезаряжаясь

в момент размыкания контактов, он препятствует мгновенному исчезновению тока управления в цепи базы, что увеличивает время запирания транзистора. К тому же первоначальная причина применения этого конденсатора — отсасывание энергии для предотвращения дугового разряда между контактами прерывателя — теперь не имеет смысла из-за малого тока через контакты.

На рис. 4 приведены осциллограммы напряжения на контактах прерывателя и первичной обмотке катушки зажигания электромеха-

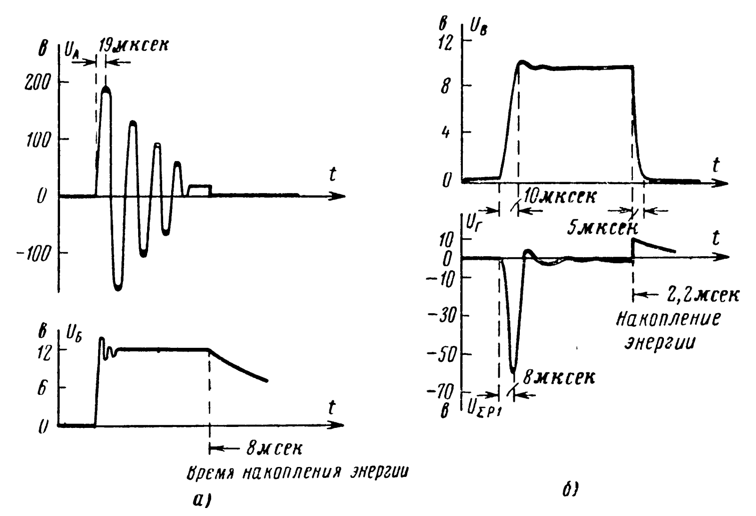


Рис. 4. Осциллограммы напряжения на контактах прерывателя и первичной обмотке катушки зажигания электромеханической (*а*) и транзисторной (*б*) систем зажигания.

нической (точки *А* и *Б* на рис. 1) и транзисторной (точки *В* и *Г* на рис. 3) систем зажигания. Осциллограммы амплитудных и временных характеристик имеют иллюстративный характер и могут несколько отличаться при замерах в конкретных системах зажигания.

Качество системы зажигания определяется ее выходной характеристикой, представляющей собой зависимость выходного напряжения системы от скорости двигателя. На рис. 5 приведены выходные характеристики электромеханической (кривая *1*) и транзисторной (кривая *2*) систем зажигания.

Электромеханическая система зажигания характеризуется падением выходного напряжения как на малых оборотах двигателя за счет шунтирования первичной обмотки катушки зажигания возникающим дуговым разрядом в контактах прерывателя и связанными с этим перебоями в работе двигателя (заштрихованная область кривой *1* на рис. 5), так и на больших оборотах двигателя за счет большой постоянной времени цепи тока первичной обмотки.

Применение транзисторной системы зажигания позволяет установить оптимальную величину тока через контакты с точки зрения их долговечности, не нарушая при этом энергетики работы системы.

В результате этого прерываемый контактами ток может быть снижен от 4—5 *а* до оптимальной величины около 1 *а*. В то же время существенно изменяется характер цепи, прерываемой контактами. Если в электромеханической системе прерывается цепь с большой индуктивностью, что вызывает значительный экстраток через контакты, то в транзисторной системе разрываемая контактами цепь имеет чисто активный характер. Уменьшение прерываемого тока с одновременным изменением характера нагрузки прерываемой цепи устраняет возникновение дугового разряда в контактах прерывателя и настолько облегчает условия их работы, что поверхность контактов не на-

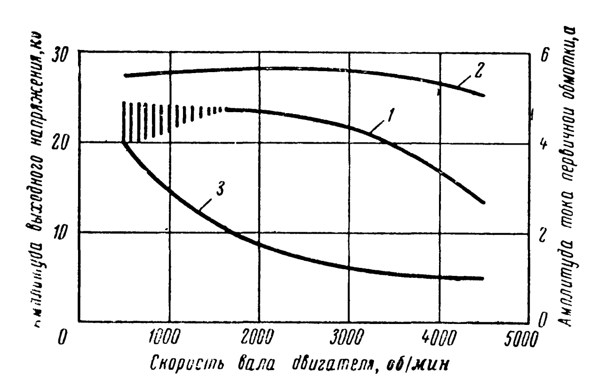


Рис. 5. Выходные характеристики систем зажигания.

1 — электромеханическая система; *2* — транзисторная система; *3* — характеристика тока в первичной обмотке катушки зажигания.

рушается, а эксплуатационная долговечность становится практически неограниченной. Контакты прерывателя не требуют частой зачистки, регулировки и замены. Выходное напряжение в течение всего срока службы системы зажигания остается постоянным.

Как видно из рис. 5, при применении транзисторной системы зажигания даже на самых малых оборотах холостого хода не наблюдается уменьшения выходного напряжения, что гарантирует уверенный запуск двигателя рукояткой или стартером в холодную погоду.

Осциллографическое исследование характеристик электромеханической системы зажигания показало, что возникновение дугового разряда в контактах прерывателя приводит как к уменьшению выходного напряжения, так иногда и к полному отсутствию зажигания. Последнее явление объясняется увеличением времени нарастания выходного напряжения за счет образования дугового разряда на контактах прерывателя. Дело в том, что надежность срабатывания системы зажигания зависит от чистоты свечей зажигания. Загрязнение свечей эквивалентно шунтированию искрового промежутка дополнительным сопротивлением, что затрудняет условия его пробоя. Возможность возникновения искрового разряда в таком промежутке в значительной степени зависит от скорости нарастания напряжения на электродах свечи. Как уже упоминалось, транзисторная система

характеризуется большой скоростью нарастания выходного напряжения и стабильными характеристиками, что обеспечивает уверенное срабатывание даже при загрязненных свечах. На рис. 6 показаны фронты четырех следующих один за другим импульсов в электромеханической и транзисторной системах зажигания. В первом случае скорость нарастания напряжения импульсов имеет значительный разброс, в то время как в транзисторной системе эта скорость у всех импульсов одинакова.

Преимуществом транзисторной системы зажигания является также возможность заметного уменьшения постоянной времени первичной цепи. Для обеспечения требуемого запаса энергии в электромеханической системе зажигания индуктивность обмотки должна быть

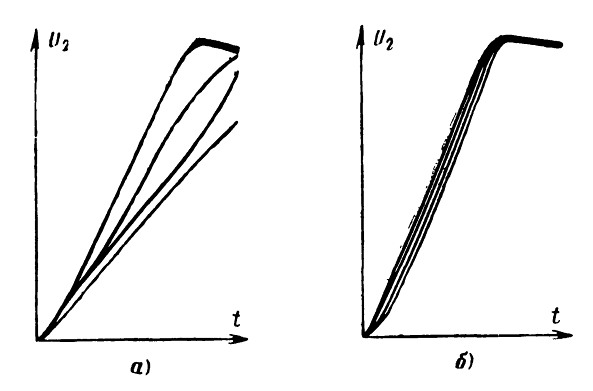


Рис. 6. Скорость нарастания напряжения импульсов зажигания.

а — в электромеханической системе; *б* — в транзисторной системе.

значительной (8—10 *мгн*), однако, как было описано в предыдущем параграфе, при этом на больших оборотах вала двигателя уменьшается амплитуда выходного напряжения (кривая *1* на рис. 5).

Возможность значительного увеличения протекающего через первичную обмотку катушки зажигания тока при применении транзисторной системы зажигания позволяет соответственно уменьшить индуктивность обмотки при сохранении того же энергетического баланса, т. е. позволяет уменьшить число витков первичной обмотки катушки зажигания (при сохранении прежних ампер-витков). В результате коэффициент трансформации катушек зажигания, разработанных для транзисторных систем, достигает значений 1 : 300÷1 · 500 (по сравнению с 1 : 150 для электромеханической системы), что сопровождается увеличением напряжения на вторичной обмотке. Практические транзисторные схемы зажигания работают при токе первичной цепи порядка 7—11 *а*.

Ток первичной цепи транзисторной системы достигает 9 *а* меньше чем за 5 *мсек*, а 8 *а* за 2 *мсек*. Это значит, что в восьмицилиндровом двигателе при скорости 5 000 *об/мин* ток первичной цепи уменьшается не более чем на 15%. Для двигателей с меньшим ко-

личеством цилиндров падение тока на больших оборотах еще меньше. В результате выходное напряжение транзисторной системы сохраняет практически постоянную величину во всем диапазоне рабочих скоростей двигателя.

При равномерном во всем диапазоне рабочих скоростей выходном напряжении, абсолютная величина которого превышает в 1,5—2 раза выходное напряжение электромеханической системы зажигания, горючая смесь полностью сгорает при всех режимах работы двигателя, что существенно влияет на его эксплуатационные характеристики.

Отсутствие опасности возникновения дугового разряда между контактами прерывателя и большое выходное напряжение, обеспечивающее надежное искрообразование в свечах при всех режимах работы двигателя, позволили уменьшить зазор между контактами прерывателя транзисторной системы до 0,12—0,2 *мм* (при 0,45 *мм* в электромеханической системе), что значительно снизило требования к качеству и частоте регулировки зазора.

Увеличение выходного напряжения позволяет увеличить разрядный зазор в свече до 1,0—1,5 *мм* (при 0,6—0,8 *мм* в электромеханической системе). При этом улучшаются условия воспламенения горючей смеси, отпадает необходимость регулировать разрядный зазор в течение всего срока службы свечи, которая четко работает при любом загрязнении.

К недостаткам транзисторной системы зажигания следует отнести дефицитность применяемых в ней мощных транзисторов и диодов, а также большую мощность, потребляемую системой. Транзисторная система зажигания при неработающем двигателе и замкнутых контактах потребляет около 100 *вт* (электромеханическая система потребляет в этих условиях 45 *вт*), а при размыкании контактов потребляемая мощность снижается до 2 *вт*. При работающем двигателе мощность, потребляемая транзисторной системой, составляет около 60 *вт*, что вдвое превышает мощность, потребляемую электромеханической системой.

При изготовлении транзисторной системы зажигания возникают некоторые трудности, связанные с особенностями характеристик транзисторов и условиями их работы в этой системе. В силу индуктивного характера нагрузки транзистора напряжение на коллекторе запертого транзистора может иногда достигать 300 *в* (когда используется высокоомная катушка) Однако отечественная промышленность в настоящее время не выпускает мощных транзисторов способных выдержать столь высокое напряжение.

Одним из способов решения этой проблемы является последовательное включение двух или трех транзисторов в цепь тока первичной обмотки с таким расчетом, чтобы напряжение на каждом из транзисторов не превышало допустимой величины.

Другой вариант решения проблемы заключается в защите транзистора от пробоев с помощью стабилитрона, подключенного между эмиттером и коллектором транзистора. Напряжение стабилизации стабилитрона в этом случае не должно превышать допустимой для транзистора величины.

Условия работы транзистора улучшаются при применении специальной катушки зажигания с малой индуктивностью первичной обмотки, так как э. д. с. самоиндукции в первичной цепи в этом случае значительно ниже.

3. СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ С ЗАЩИТОЙ ТРАНЗИСТОРА СТАБИЛИТРОНОМ

Принципиальная схема транзисторной системы зажигания с коммутатором ТК-102, выпускаемой отечественной промышленностью, приведена на рис. 7. Эта система предназначена для установки на любом современном карбюраторном двигателе внутреннего сгорания с напряжением питания электрооборудования 12 *в*.

Транзистор *Т* работает в ключевом режиме с нагрузкой в цепи эмиттера. Такое включение транзистора имеет то преимущество, что его корпус, соединенный с коллекторным выводом, имеет непосредственный тепловой контакт с кожухом транзисторного коммутатора и обеспечивает эффективный отвод мощности, рассеиваемой на коллекторе транзистора.

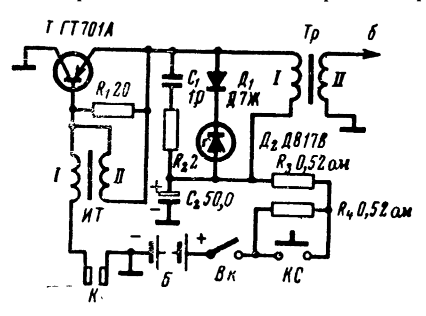


Рис. 7. Принципиальная схема системы зажигания с коммутатором ТК-102 с защитой транзистора стабилитроном.

При замкнутых контактах прерывателя *К* в цепи базы транзистора ток отсутствует и транзистор заперт. При размыкании контактов прерывателя в цепи базы транзистора появляется ток 0,3—0,9 *а*. Транзистор полностью отпирается, внутреннее сопротивление его резко падает, и в первичной обмотке протекает ток, определяемый полным сопротивлением первичной цепи. Обычно он составляет 7—8 *а*. Процесс формирования импульса зажигания в этой системе полностью соответствует описанному в предыдущем параграфе.

Прекращение тока в первичной цепи при размыкании контактов прерывателя вызывает появление э. д. с. самоиндукции, которая здесь не превышает 100—120 *в* против 200—300 *в* в электромеханической системе. Низкое значение э. д. с. самоиндукции объясняется применением в системе катушки зажигания с уменьшенной индуктивностью первичной обмотки (катушка типа Б-114; ее параметры приведены в приложении).

Специальный импульсный трансформатор *ИТ* и резистор R_1 служат для ускорения процесса запирания транзистора при размыкании контактов прерывателя. Параметры трансформатора *ИТ* выбраны таким образом, что позволяют оптимизировать условия переключения транзистора. Обязательным условием получения быстродействия в транзисторной системе, существенно превышающего быстродействие электромеханической системы зажигания, является применение транзистора с малым временем переключения. Применение в схеме коммутации мощного транзистора и активного способа запирания позволило гарантировать постоянные высокие скорости переключения независимо от разброса параметров отдельных транзисторов и изменения температуры окружающей среды.

Цепь C_1R_2 служит для сглаживания переходного процесса, вызванного индуктивностью рассеяния в первичной цепи катушки зажигания, что способствует уменьшению рассеиваемой транзистором

мощности. Резисторы R_3 и R_4 являются вариатором. Конденсатор C_2 защищает систему от импульсов напряжения, которые могут возникнуть в питающей цепи, и замыкает один из концов катушки зажигания по переменному току на корпус. Цепь, состоящая из диода $Д_1$ и стабилитрона $Д_2$ служит для защиты транзистора от перенапряжений.

При положительном (относительно корпуса) напряжении на вторичной обмотке катушки зажигания ток первичной обмотки проходит через диод $Д_1$ и стабилитрон $Д_2$. Появляющееся в этот момент в первичной обмотке катушки зажигания напряжение не будет превышать напряжения стабилизации стабилитрона $Д_2$, так как после пробоя он зашунтирует первичную обмотку.

При отрицательном напряжении на «горячем» конце катушки зажигания она не будет шунтироваться стабилитроном $Д_2$, так как диод $Д_1$ в обратном направлении имеет большое сопротивление.

Кнопка *КС* предназначена для шунтирования балластного резистора R_4 при запуске двигателя и облегчения запуска.

В описываемой системе применены резисторы R_1 и R_2 типа УЛИ-0,25, конденсаторы C_1 типа МБМ на рабочее напряжение 160 *в* и C_2 типа К50-6 на рабочее напряжение 25 *в*. Импульсный трансформатор *ИТ* имеет следующие параметры: первичная обмотка состоит из 50 витков и имеет активное сопротивление 0,14 *ом* и индуктивность 0,1 *мгн*; вторичная обмотка состоит из 150 витков с активным сопротивлением 7 *ом* и индуктивностью 6,2 *мгн*. Остальные данные элементов приведены на принципиальной схеме.

Корпус прибора отлит из алюминиевого сплава и имеет площадь наружной поверхности около 470 *см²*, что обеспечивает достаточный теплообмен с окружающей средой. Транзистор с обеих сторон залит эпоксидной смолой. Элементы цепи защиты $Д_1Д_2C_1R_2$ смонтированы на алюминиевом теплоотводе и залиты эпоксидной смолой.

Диапазон рабочих температур прибора от —40 до +65° С. Учитывая, что рабочая температура не должна превышать 65° С, прибор следует размещать в кабине водителя.

Применение стабилитрона для защиты транзистора от перенапряжений — не единственный и не наилучший способ решения задачи. В этой схеме необходимо применять мощный транзистор, пропускающий токи до 12 *а* с допустимым напряжением на коллекторе не ниже напряжения стабилизации (обычно 50—70 *в*). Это наиболее высококачественные транзисторы; они дефицитны и дороги. К тому же при пробое стабилитрона резко увеличивается время нарастания напряжения на вторичной обмотке, так как цепь стабилитрона шунтирует первичную обмотку катушки зажигания.

4. СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫМИ ТРАНЗИСТОРАМИ

Схемы с последовательно включенными мощными транзисторами, в которых полное значение возникающей на первичной обмотке э. д. с. делится между транзисторами, при своей относительной простоте позволяют использовать мощные транзисторы широкого применения, характеризующиеся невысокими значениями допустимого коллекторного напряжения.

На рис. 8,*а* приведена принципиальная схема системы зажигания с двумя последовательно включенными мощными транзистора-

ми. Здесь транзисторы T_2 и T_3 осуществляют коммутацию тока первичной обмотки катушки зажигания, а транзистор T_1 включен по схеме эмиттерного повторителя и является усилителем постоянного тока, протекающего через контакты прерывателя.

Резистор R_4 в эмиттерной цепи транзистора T_3 имеет номинальную мощность рассеяния 100 *вт* и предназначен для ограничения тока первичной обмотки до значения порядка 8 *а*. Резисторы R_4 и R_5 образуют делитель, создающий напряжение смещения на эмиттере транзистора T_1. Благодаря этому смещению даже при самых высоких температурах транзистор полностью заперт до подачи управляющего сигнала на его базу.

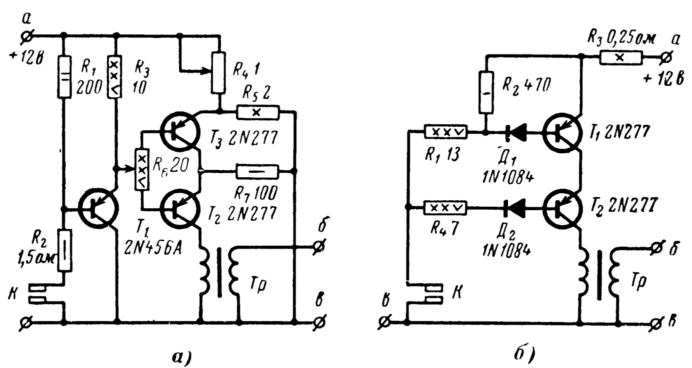


Рис. 8. Принципиальная схема системы зажигания с двумя последовательно включенными транзисторами.

а — с усилителем тока; *б* — без усилителя.

Резистор R_7 обеспечивает утечку в цепи эмиттера транзистора T_2. С помощью резистора R_6 устанавливают необходимое соотношение между управляющими токами транзисторов T_3 и T_2. Ток управления транзисторами коммутатора определяется сопротивлением участка эмиттер-коллектор транзистора T_1, которое зависит от соотношения сопротивлений резисторов R_1 и R_2. Этот ток подбирается таким, чтобы при замкнутых контактах *К* прерывателя транзисторы T_2 и T_3 были полностью насыщены.

Катушка зажигания *Тр* имеет коэффициент трансформации 1 : 250, поэтому выброс напряжения на коллекторе транзистора T_2 не превышает 55 *в*, что позволяет использовать мощные транзисторы с допустимым коллекторным напряжением 30 *в*. В этой схеме ток через контакты прерывателя очень мал (около 100 *ма*). Такое уменьшение тока, вообще говоря, не обязательно.

На рис. 8,*б* приведена подобная схема без эмиттерного повторителя, в которой ток через контакты прерывателя увеличен до 500 *ма*. Схема принципиально не отличается от предыдущей. Диоды $Д_1$ и $Д_2$, включенные в цепи без коммутирующих транзисторов, предотвращают обратные токи в транзисторах в те периоды, когда на коллекторы транзисторов воздействуют броски напряжения с катушки зажигания, т. е. переход эмиттер — база транзисторов в эти моменты оказывается запертым.

Принципиальная схема транзисторной системы зажигания, в которой использованы три последовательно включенных транзистора общего применения, приведена на рис. 9. Такая система зажигания освоена отечественной промышленностью (тип ППЗ-1) и предназначена для установки на двигателях внутреннего сгорания с катушками зажигания типа Б1, Б7, Б7А, Б13, Б21, Б21А.

Эта система обеспечивает выходное напряжение не менее 18 *кв* и бесперебойное искрообразование при уменьшении скорости двигателя до 10 *об/мин*. Прибор может быть установлен на автомобиле без каких-либо механических доработок существующей системы зажигания и без замены ее узлов.

При разомкнутых контактах *К* прерывателя транзисторы T_1—T_3 заперты и ток через первичную обмотку катушки зажигания отсутствует.

При замкнутых контактах прерывателя ток в первичной обмотке составляет, как и в обычной системе зажигания, около 4 *а*.

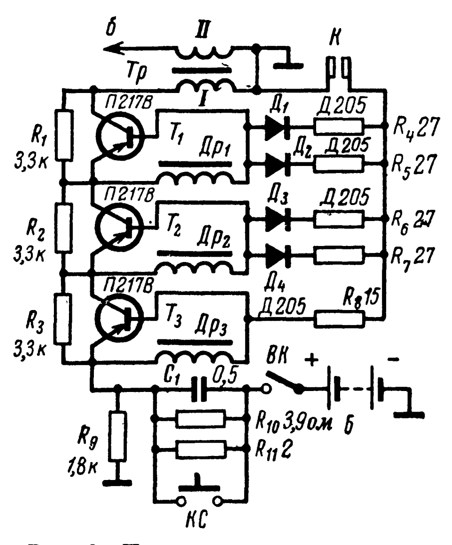


Рис. 9. Принципиальная схема транзисторной системы зажигания типа ППЗ-1.

В связи с тем, что э. д. с. самоиндукции в первичной обмотке катушки зажигания при размыкании контактов прерывателя достигает 200—300 *в*, транзисторы работают в тяжелых условиях. Для выравнивания падения напряжения на транзисторах между коллектором и эмиттером каждого транзистора включен резистор, сопротивление которого значительно ниже внутреннего сопротивления транзистора в запертом состоянии. Благодаря этому напряжение распределяется между транзисторами равномерно независимо от их параметров.

Цепь управления транзисторным коммутатором состоит из резисторов R_4—R_8, предназначенных для ограничения тока управления, диодов $Д_1$—$Д_4$ и дросселей $Др_1$—$Др_3$.

При замкнутых контактах прерывателя процесс управления транзисторным коммутатором происходит следующим образом. Транзистор T_3 управляется током, проходящим по цепи: плюс аккумуляторной батареи, резисторы $R_{10}R_{11}$, переход эмиттер—база транзистора T_3, резистор R_8, контакты прерывателя, минус аккумуляторной батареи. Транзистор T_3 при этом отпирается. Когда транзистор T_3 отопрется, создается цепь: плюс аккумуляторной батареи, резисторы $R_{10}R_{11}$, переход эмиттер — коллектор транзистора T_3, переход эмиттер — база транзистора T_2, диоды $Д_3$—$Д_4$, резисторы R_6, R_7, контакты прерывателя, минус аккумуляторной батареи. Транзистор T_2 при этом отопрется. Аналогичным образом отпирает-

ся транзистор T_3 и через первичную обмотку катушки зажигания идет ток. Дроссели $Др_1$—$Др_3$ обеспечивают ускорение переключения транзисторов за счет возникновения колебательного процесса в цепи управления. Конденсатор C_1 блокировочный. При запуске двигателя от стартера резисторы R_{10} и R_{11}, которые выполняют совместно с резистором R_9 роль вариатора, замыкаются специальным контактом *КС* имеющимся на стартере.

В системе применены следующие элементы. Резисторы R_1—R_3 типа МЛТ-2, резисторы R_4—R_8 и R_{10} типа ПЭВ-10, резистор R_9 типа УЛМ-0,12, резистор R_{11} проволочный по ГОСТ 3940-57, конденсатор C_1 типа МБМ на рабочее напряжение 160 *в*.

Конструктивно прибор выполнен в виде блока размерами 154×
×86×105 *мм*. Прибор устанавливается в кабине автомобиля при помощи кронштейна. При установке прибора в автомобиле должен быть отключен конденсатор, шунтирующий контакты прерывателя, так как он значительно увеличивает время запирания транзисторов. Дополнительно от системы электропитания автомобиля прибор потребляет ток 0,8—0,9 *а*.

В приборе использована обычная катушка зажигания, поэтому, естественно, не использована возможность уменьшения постоянной времени первичной цепи и заметного повышения выходного напряжения, особенно на больших оборотах. Однако такой прибор позволяет разгрузить контакты прерывателя по напряжению в 20—30 раз, по току — в 3—4 раза, благодаря чему улучшаются условия эксплуатации системы зажигания, упрощается ее обслуживание, повышается надежность работы контактов прерывателя и их эксплуатационная долговечность. Облегчается запуск двигателя в любую погоду, особенно при пользовании рукояткой, а также обеспечивается бесперебойная работа двигателя на самых малых оборотах холостого хода.

На примере этого прибора видно, что даже частичное использование преимуществ, даваемых транзисторной системой зажигания, целесообразно и может служить основанием для внедрения таких систем в жизнь.

5. БЕСКОНТАКТНАЯ ТРАНЗИСТОРНАЯ СИСТЕМА ЗАЖИГАНИЯ

Дальнейшим развитием транзисторной системы зажигания автомобиля является исключение механического прерывателя тока и замена его электромагнитным синхронизатором. Отсутствие механического прерывателя полностью исключает необходимость периодической регулировки системы зажигания, очистки и замены контактов прерывателя и повышает надежность работы системы зажигания.

Генерирование импульсов синхронизации момента зажигания осуществляется магнитным синхродатчиком. При замыкании магнитного потока в катушке датчика возникает импульс, синхронизирующий работу транзисторной системы зажигания. Таким образом, операция прерывания тока контактами прерывателя в электромеханической системе зажигания заменена здесь операцией замыкания магнитного потока в синхродатчике.

Принципиальная схема бесконтактной транзисторной системы зажигания приведена на рис. 10. При подаче на схему напряжения питания транзистор T_2 открывается, так как на его базу с помощью

резистора R_4 подается отрицательное смещение Транзистор T_3 тоже отпирается, и его коллекторный ток протекает через первичную обмотку катушки зажигания *Тр*. Транзисторы T_1 и T_2 образуют одновибратор, в цепь обратной связи которого включен резистор R_6. При отпертом транзисторе T_2 напряжение на базе транзистора T_1 недостаточно для его отпирания, так как база транзистора T_1 практически накоротко соединена с плюсовой шиной через обмотку датчика *Др*, имеющую незначительное по сравнению с резистором

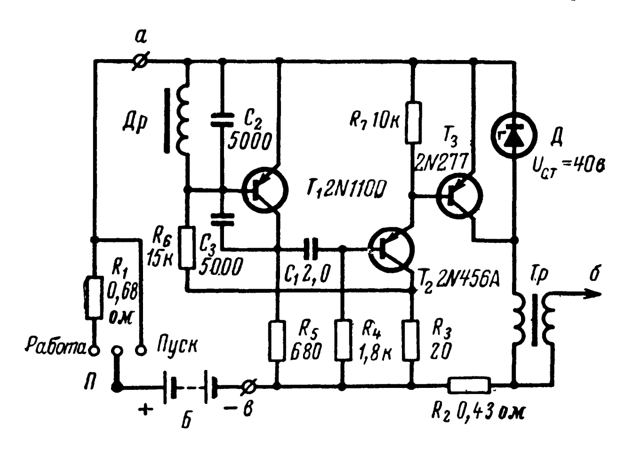


Рис. 10. Принципиальная схема бесконтактной транзисторной системы зажигания.

R_6 сопротивление постоянному току. Левая обкладка времязадающего конденсатора C_1 одновибратора имеет потенциал минусовой шины, так как транзистор T_1 полностью заперт, а правая обкладка — потенциал базы транзистора T_2, близкий к потенциалу положительной шины.

При прокручивании вала двигателя на обмотке датчика возникает импульс отрицательной полярности в тот момент, когда сопротивление магнитному потоку в нем минимально. С обмотки *Др* импульс поступает на базу транзистора T_1, отпирая его. Одновибратор переходит в неустойчивое состояние, при котором транзистор T_2 заперт, и на резисторе R_7 возникает импульс положительной полярности. Длительность этого импульса определяется постоянной времени R_4C_1 одновибратора

Импульс с резистора R_7 запирает ключевой транзистор T_3, через который протекает ток первичной обмотки катушки зажигания *Тр*, что приводит к появлению высоковольтного импульса зажигания в ее вторичной обмотке.

Стабилитрон *Д* предохраняет ключевой транзистор от бросков напряжения на первичной обмотке катушки зажигания, которые могут превысить допустимое для этого транзистора значение. Конденсаторы C_2 и C_3 служат для сглаживания бросков напряжения, которые могут превысить допустимое для транзистора T_1 значение.

На рис. 11 показана конструкция датчика синхронизирующих импульсов. Внутри неподвижно установленного кольцевого магнита *1* расположена обмотка *2*, напряжение на зажимах которой и используется в качестве синхронизирующего импульса. Торцовые части кольцевого магнита приклеены к накладкам *3* и *4*, изготовленным из магнитно-мягкого материала. Если синхронизатор предназначен для четырехцилиндрового двигателя, то кольцевая накладка *4* имеет на внутренней поверхности четыре зуба.

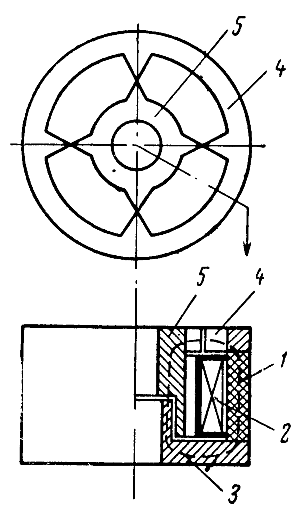


Рис. 11. Конструкция датчика синхронизирующих импульсов.

Ротор *5* датчика синхронизирующих импульсов изготовлен из магнитно-мягкого материала и имеет вид втулки с зубчатым фланцем. Количество и расположение зубьев фланца в точности должно соответствовать количеству и расположению зубьев статорной части датчика. При вращении ротора периодически происходит совмещение зубьев роторной и статорной частей датчика. В моменты совмещения зубьев резко уменьшается сопротивление цепи, по которой происходит замыкание магнитного потока кольцевого магнита (пунктирная линия на рис. 11). При этом магнитный поток возрастает, что приводит к появлению на зажимах катушки импульса напряжения. Таким образом, синхронизирующие импульсы генерируются датчиком в те моменты, когда совмещаются зубья ротора и статора.

При последующем повороте ротора воздушный зазор между ротором и статором увеличивается за счет расхождения зубьев, магнитный поток уменьшается и остается неизменным до следующего совмещения зубьев. При неизменном магнитном потоке напряжение на зажимах катушки отсутствует.

Датчик синхронизирующих импульсов располагается в корпусе стандартного распределителя зажигания автомобиля на том месте, которое освобождается при удалении кулачка и контактов прерывателя. Ротор *5* устанавливается на вал распределителя вместо кулачка.

Статорная часть датчика устанавливается на плате, освобожденной от контактов прерывателя, так что вакуумная и центробежная коррекция момента опережения зажигания осуществляется таким же образом, как и в электромеханической системе зажигания. Взаимное расположение ротора и статора подбирается и фиксируется так, чтобы моменты совпадения зубьев ротора и статора соответствовали моментам, в которые должны быть сформированы импульсы зажигания. Однажды отрегулированное это устройство не требует в дальнейшем какой-либо проверки или регулировки.

Испытания описанной системы показали ее высокую надежность. При испытании партии таких устройств в течение 100 000 *ч* (суммарное время), что соответствует суммарному пробегу

1,6 млн. *км,* выход транзисторов из строя составил 0,8%, причем в $^2/_3$ случаев выход из строя объяснялся неправильной установкой прибора Таким образом, естественный выход из строя произошел примерно в 0,25% случаев.

Серийно выпускаемой системой зажигания, выполненной по такой схеме, оборудованы легковые автомобили одной из ведущих зарубежных автомобильных фирм.

6. ЭЛЕКТРОННОЕ ЗАЖИГАНИЕ С АВТОМАТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКОЙ УГЛА ОПЕРЕЖЕНИЯ

Для достижения максимальной эффективности вспышки горючей смеси в цилиндре двигателя внутреннего сгорания момент поджига горючей смеси должен опережать момент достижения поршнем так называемой «верхней мертвой точки», при этом величина опережения пропорциональна числу оборотов вала двигателя. Обычно опережение зажигания устанавливается автоматически спе-

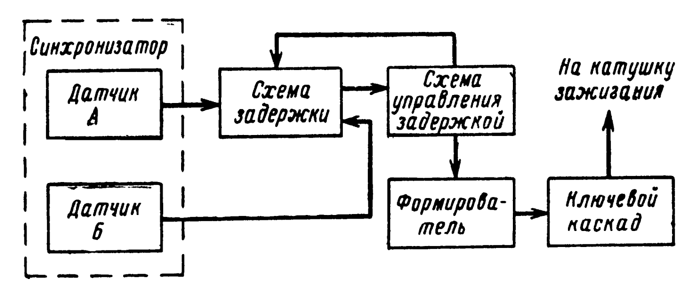


Рис. 12. Блок-схема электронной системы опережения зажигания.

циальной механической системой регулирования. Электронная система опережения значительно проще, надежнее и дешевле механической и имеет лучшие характеристики, чем достигается хорошее качество работы двигателя во всех режимах.

На рис. 12 приведена блок-схема электронной системы опережения зажигания. С синхронизатора, состоящего из датчиков максимального угла опережения *А* и минимального угла опережения *Б,* импульсы синхронизации поступают на схему задержки. Эта схема управляется сигналом, получаемым с датчика синхронизирующих импульсов. Импульс, получаемый со схемы задержки, расширяется формирователем и подается на ключевой каскад, управляющий током первичной обмотки катушки зажигания.

Схема, поясняющая работу синхронизатора, приведена на рис. 13,*а*. Синхронизатор предназначен для шестицилиндрового двигателя. По окружности вала распределителя устанавливают на равном расстоянии друг от друга три постоянных магнита *М*. На корпусе двигателя устанавливают два неподвижных датчика синхронизирующих импульсов (*А* и *Б*). В качестве датчиков используют катушки с сердечниками из магнитно-мягкого материала. Датчик *А* сдвинут относительно верхней мертвой точки в сторону опережения

(против часовой стрелки) на угол, несколько превышающий максимальный возможный угол опережения зажигания двигателя. Обычно этот угол составляет примерно 60°.

Датчик *Б* сдвинут в сторону опережения на угол, равный наименьшему углу опережения зажигания, необходимому для двигателя при пуске, который составляет 7°.

Таким образом, внутри сектора, ограниченного датчиками *А* и *Б*, расположены все возможные значения углов опережения зажигания, обеспечивающие нормальную работу двигателя при всех режимах: пуск, холостой ход и максимальные обороты.

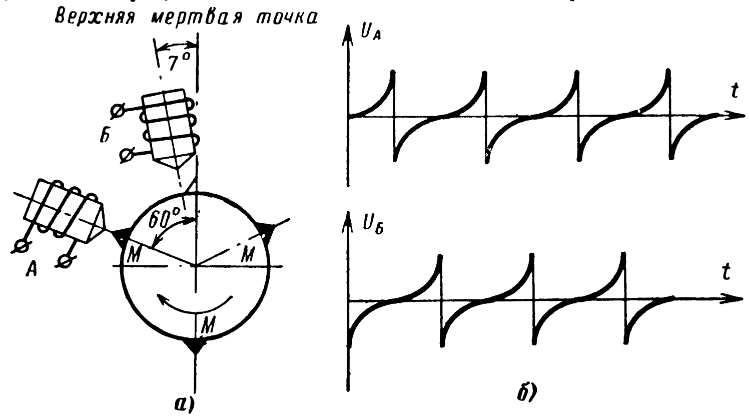


Рис. 13. К пояснению принципа синхронизации электронного опережения зажигания.

Установка необходимого угла опережения зажигания осуществляется путем задержки синхронизирующего импульса от датчика *А* до момента, соответствующего углу опережения при данном режиме работы двигателя. За один оборот вала датчики синхронизирующих импульсов дают три пары импульсов, ограничивающих сектор углов опережения зажигания. Форма синхронизирующих импульсов с датчиков *А* и *Б* показана на рис. 13,*б*.

Принципиальная схема устройства опережения зажигания приведена на рис. 14.

Транзисторы T_1 и T_3 образуют одновибратор. В исходном состоянии транзистор T_3 отперт благодаря отрицательному смещению, поступающему на его базу с коллектора транзистора T_4. Транзистор T_4 заперт, и напряжение на его коллекторе равно нулю. Напряжение на времязадающем конденсаторе C_1 равно разности напряжения источника питания и напряжения смещения транзистора T_3.

При поступлении на гнезда $Г_1$ импульса с датчика *А* транзистор T_1 отпирается отрицательной частью этого импульса. Положительный выброс шунтируется диодом $Д_1$ для предохранения перехода база — эмиттер транзистора T_1 от пробоя. Усиленный импульс с коллектора транзистора T_1 через конденсатор C_1 поступает на базу транзистора T_3, запирая его. Одновибратор переходит в неустойчивое состояние, длительность которого определяется време-

нем, необходимым для перезаряда C_1 через резистор R_8. Это время находится в прямой зависимости от напряжения, до которого был заряжен конденсатор, когда одновибратор находился в устойчивом состоянии. Напряжение, имеющееся в начальный момент перезаряда на конденсаторе C_1, при отпирании транзистора T_1 оказывается приложенным между базой и эмиттером транзистора T_3 и поддерживает его в запертом состоянии. По мере разряда конденсатора C_1 запирающее напряжение на базе транзистора T_3 умень-

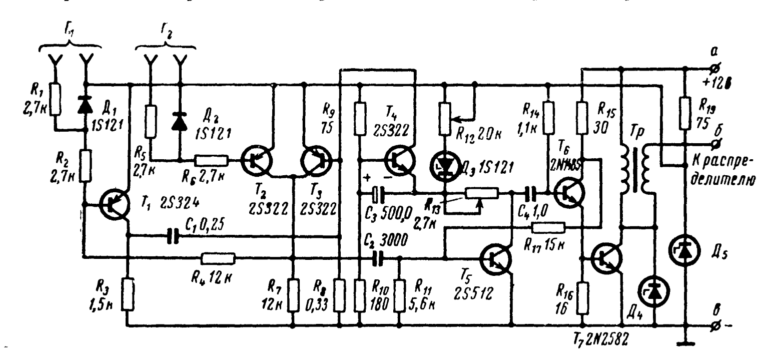


Рис. 14. Принципиальная схема электронной системы зажигания с автоматическим опережением.

шается, и когда оно достигает значения напряжения отпирания, транзистор T_3 отпирается и одновибратор снова переходит в устойчивое состояние.

Таким образом, длительность неустойчивого состояния одновибратора определяется при выбранной постоянной времени R_8C_1 напряжением смещения транзистора T_3.

При переходе одновибратора в устойчивое состояние на коллекторе транзистора T_3 возникает положительный перепад напряжения, который дифференцируется цепочкой C_2R_{11}. Образующийся положительный импульс используется для запуска формирователя импульса зажигания на транзисторах T_5 и T_6. Таким образом, одновибратор играет роль схемы задержки синхронизирующего импульса с датчика A, причем величина задержки определяется напряжением смещения транзистора T_3, а задержанный импульс формируется от спада импульса одновибратора.

Напряжение смещения транзистора T_3 снимается с формирователя импульса зажигания. Формирователь выполнен по схеме одновибратора на транзисторах T_5 и T_6. В устойчивом состоянии транзистор T_5 заперт, а транзистор T_6 отперт, благодаря отрицательному напряжению смещения, возникающему на резисторе R_{15}. При поступлении на базу транзистора T_5 задержанного синхронизирующего импульса датчика транзистор T_5 отпирается, его импульс поступает через конденсатор C_4 на базу транзистора T_6, который запирается, и одновибратор переходит в неустойчивое состояние. Длительность этого состояния определяется постоянной времени цепочки $R_{14}C_4$. На время неустойчивого состояния одновибратора напряжение на эмиттере транзистора T_6 становится равным нулю,

в результате чего запирается ключевой транзистор T_7. Ток через первичную обмотку катушки зажигания *Тр* прекращается, и происходит образование искры между электродами свечи.

Напряжение на конденсаторе C_3 приложено между базой и эмиттером транзистора T_4 и управляет его коллекторным током. Это напряжение зависит от среднего значения коллекторного тока транзистора T_5, которое пропорционально частоте следования синхронизирующих импульсов, а последняя в свою очередь пропорциональна числу оборотов вала двигателя. Таким образом, с увеличением числа оборотов вала двигателя увеличивается напряжение на конденсаторе C_3 и уменьшается задержка синхронизирующего импульса, что приводит к увеличению угла опережения зажигания.

Чтобы исключить влияние колебаний напряжения питания на напряжение на конденсаторе C_3, в коллекторную цепь транзистора T_4 включен стабилитрон $Д_5$. Резистор R_{12} является балластным, и его сопротивление определяет начальный коллекторный ток транзистора T_4.

При пуске и работе двигателя на холостых оборотах угол опережения зажигания должен быть минимальным (около 7°). Такой угол получается благодаря синхронизирующему импульсу с датчика *Б*, имеющему фиксированную задержку относительно синхронизирующего импульса датчика *А*. Синхронизирующий импульс с датчика *Б* поступает на гнезда $Г_2$ и через резисторы R_5 и R_6 на базу транзистора T_2, имеющего общую коллекторную нагрузку с транзистором T_3. Диод $Д_2$ шунтирует положительный выброс импульса.

Если транзистор T_3 в момент поступления синхронизирующего импульса с датчика *Б* заперт (одновибратор на транзисторах T_1 и T_3 находится в неустойчивом состоянии), то в результате отпирания транзистора T_2 на общем коллекторном резисторе R_7 образуется положительный импульс. Через резистор R_4 он поступает на базу транзистора T_1 и запирает его, в результате чего одновибратор переходит в устойчивое состояние. Одновременно через конденсатор C_2 этот импульс запускает формирователь на транзисторах T_5 и T_6.

Все транзисторы (кроме T_4) работают в режиме насыщения, чем достигается высокая надежность и устойчивость работы схемы в широком диапазоне температур.

Соответствие регулировочной характеристики устройства требуемой зависимости изменения угла опережения зажигания от количества оборотов вала двигателя достигается с помощью переменных резисторов R_{12} и R_{13}. При минимальных оборотах двигателя (1 000 *об/мин*) с помощью резистора R_{12} устанавливается задержка синхронизирующего импульса от датчика *А*, соответствующая углу опережения 10°. Затем при больших оборотах двигателя подбирается сопротивление резистора R_{13} таким, чтобы величина задержки соответствовала углу опережения зажигания 35°.

Изменение температуры окружающей среды в пределах от 0 до 70° С приводит лишь к незначительной погрешности установки угла опережения зажигания, так как напряжение питания стабилизировано (стабилитроном $Д_5$).

При использовании описанного устройства в двигателе, количество цилиндров которого отлично от шести, следует соответственно изменить расстановку датчиков *А* и *Б*, а также количество и расположение магнитов на валу двигателя.

ГЛАВА ВТОРАЯ

КОНДЕНСАТОРНЫЕ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

7. ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ

Принципиально новым путем решается задача накопления энергии в так называемой конденсаторной системе зажигания, развитие которой обязано появлению тиристоров — кремниевых управляемых вентилей, предназначенных для работы в качестве ключевых элементов

Блок-схема конденсаторной системы зажигания приведена на рис 15. Как видно из блок-схемы, конденсаторная система зажигания состоит из источника питания, преобразователя, электронного ключа *ЭК*, схемы управления электронным ключом, накопительного конденсатора *C* и катушки зажигания *Тр*.

В преобразователе низкое постоянное напряжение источника питания $U_н$ преобразуется в высокое постоянное напряжение $U_в$, достигающее нескольких сотен вольт. Этим напряжением через цепь: электронный ключ *ЭК* (который в это время находится в положении *1*) — катушка зажигания *Тр* заряжается конденсатор *C*. Далее в момент размыкания контактов прерывателя система управления переводит электронный ключ в положение *2* и конденсатор начинает разряжаться на катушку зажигания. При этом накопленная на конденсаторе энергия трансформируется в катушке зажигания и обеспечивает искрообразование в свече двигателя.

Принципиальным отличием этой системы от вышеизложенной является то, что энергия, необходимая для искрообразования, накапливается не в магнитном поле катушки зажигания, а в электрическом поле конденсатора Как известно, энергия, накопленная в конденсаторе, может быть вычислена по формуле:

$$W_C = \frac{CU^2}{2},$$

где W_C — энергия, накопленная в конденсаторе;
C — емкость конденсатора;
U — напряжение на конденсаторе.

Зная энергию искрообразования в электромеханической системе зажигания, всегда можно рассчитать параметры конденсаторной системы таким образом, чтобы запасаемая в ней энергия, была такой же или даже больше

Как уже указывалось выше, в электромеханической системе зажигания максимальный ток первичной обмотки составляет около 4 *а*. При индуктивности первичной обмотки 10 *мгн* накопленная в магнитном поле такой катушки энергия составляет:

$$W_L = \frac{4^2 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{2} = 0{,}08 \text{ вт} \cdot \text{сек}.$$

В транзисторной системе, где ток первичной обмотки катушки зажигания увеличен, например, до 7 *а*, а индуктивность составляет 3,8 *мгн*, эта энергия составляет:

$$W_L = \frac{7^2 \cdot 3{,}8 \cdot 10^{-3}}{2} = 0{,}0930 \text{ вт} \cdot \text{сек}.$$

Однако, как видно из графика, приведенного на рис. 5 (кривая *3*), ток в первичной обмотке катушки зажигания с увеличением числа оборотов вала двигателя резко падает, а соответственно па-

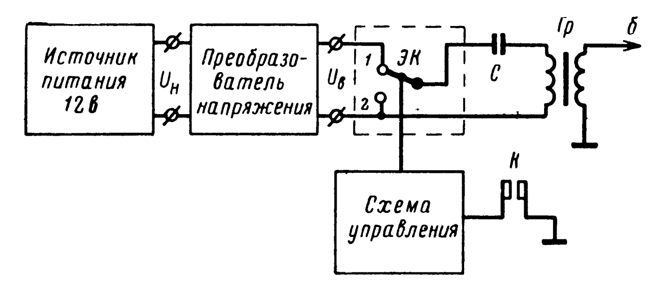


Рис. 15. Блок-схема конденсаторной системы зажигания.

дает и накапливаемая энергия. Из практики известно, что энергия в 0,03 *вт·сек* является минимальной энергией, обеспечивающей бесперебойную работу системы зажигания Если произвести расчеты, воспользовавшись данными из графика на рис. 5, то мы увидим, что, хотя при запуске имеется запас энергии, на максимальных оборотах в электромеханической системе зажигания эта энергия настолько уменьшается, что ее не хватает для бесперебойной работы двигателя В конденсаторной же системе зажигания за цикл искрообразования накопительный конденсатор должен успевать заряжаться до напряжения высоковольтного источника питания и таким образом энергия, запасаемая в электрическом поле этого конденсатора, практически остается постоянной при любых оборотах двигателя.

Для примера рассмотрим случай, когда индуктивность катушки зажигания составляет 12 *мгн*, а для накопления энергии используется конденсатор емкостью 2 *мкф*.

Резонансная частота колебательного контура, образованного накопительным конденсатором и катушкой зажигания при указанных значениях индуктивности и емкости, составляет примерно 1 *кгц* и время одного периода равно 1 *мсек*. Как будет показано ниже,

в момент размыкания контактов прерывателя тиристор включается, а через полпериода (0,5 *мсек*) выключается, причем это время определяется исключительно параметрами колебательного контура.

Время подзаряда накопительного конденсатора, определяемое выходным сопротивлением преобразователя и емкостью накопительного конденсатора, может быть доведено до 2 *мсек* и будет тем меньше, чем мощнее преобразователь

При использовании преобразователя с высоким сопротивлением вторичной обмотки и выпрямителем на кремниевых диодах постоянная времени подзаряда накопительного конденсатора увеличивается.

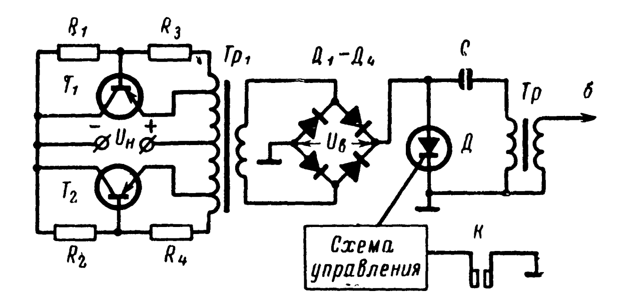


Рис. 16. Принципиальная схема конденсаторной системы зажигания.

В этом случае емкость конденсатора надо уменьшить, соответственно увеличивая напряжение преобразователя таким образом, чтобы сохранить неизменной энергию искрообразования При скорости вращения вала двигателя 6 000 *об/мин* вал распределителя вращается со скоростью 3 000 *об/мин*, или 50 *об/сек*, что составляет 20 *мсек* на один оборот распределителя, и при четырехцилиндровом двигателе длительность цикла искрообразования равна 5 *мсек*. Если из этого времени вычесть время, в течение которого тиристор включен (0,5 *мсек*), то для подзаряда накопительного конденсатора остается 4,5 *мсек* Для восьмицилиндрового двигателя, где время между периодами искрообразования равняется 2,5 *мсек*, из которых те же 0,5 *мсек* уходят на переключение тиристора, условия полного заряда также выполняются. При меньшей скорости двигателя длительность цикла увеличивается. Таким образом, независимо от скорости двигателя конденсатор в такой системе всегда полностью заряжается, а энергия искрообразования остается постоянной

Принципиальная схема конденсаторной системы зажигания с электронным ключом на кремниевых управляемых вентилях — тиристорах приведена на рис. 16. Схема управления на ней показана условно, так как она может иметь различные варианты исполнения, которые будут рассмотрены ниже

Преобразователь напряжения собран на транзисторах T_1 и T_2, трансформаторе $Тр_1$, резисторах R_1—R_4 и диодах $Д_1$—$Д_4$ Напряжение $U_в$ на выходе преобразователя выбирается таким, чтобы при максимальном напряжении источника питания не происходило включение тиристора *Д* под воздействием приложенного к нему напряжения Конденсатор *С* заряжается до этого напряжения, так как

тиристор в это время не проводит. В момент размыкания контактов прерывателя на тиристор со схемы управления подается запускающий импульс, и он включается. При этом одновременно происходят два процесса. Во-первых, тиристор замыкает накоротко выход преобразователя и под воздействием возросшей нагрузки колебания генератора в преобразователе срываются, и напряжение на выходе преобразователя становится равным нулю. Во-вторых, конденсатор оказывается присоединенным к первичной обмотке катушки зажигания, и запасенная в его электрическом поле энергия передается в катушку зажигания.

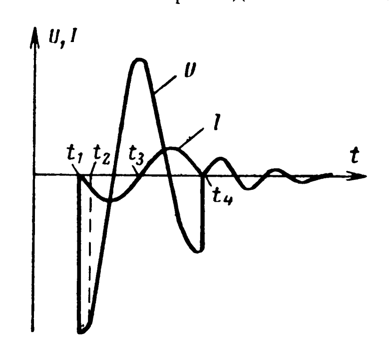


Рис. 17. График изменения напряжения и тока в катушке зажигания.

Процесс протекает следующим образом. В момент t_1 (рис. 17) за время около 2 *мксек* напряжение на первичной обмотке катушки зажигания возрастает до напряжения, которым был заряжен конденсатор. В связи с тем, что постоянная времени выходной цепи при применяемых в электромеханических системах катушках зажигания больше постоянной времени первичной цепи (за счет влияния емкости вторичной цепи и индуктивности рассеяния первичной цепи); время нарастания напряжения в выходной цепи составляет примерно 15 *мксек* и зажигание горючей смеси происходит в момент t_2. В цепи разряда конденсатора образуется резонансный контур, в котором возникает колебательный процесс с частотой, определяемой емкостью накопительного конденсатора и индуктивностью первичной обмотки катушки зажигания. В результате колебательного процесса неизрасходованная энергия из катушки зажигания возвращается в конденсатор.

Разрядный ток конденсатора, проходя через тиристор и первичную обмотку катушки зажигания, создает в ней магнитный поток. Вызванный магнитным полем катушки зажигания ток продолжает течь в цепи, пока конденсатор не зарядится в противоположной полярности до напряжения несколько меньшего, чем первоначальное. С момента t_3 направление тока, который отстает на 90° от напряжения в первичной цепи, изменяется и тиристор выключается. Однако преобразователь напряжения все еще не может запуститься, так как ток контура теперь протекает через диоды $Д_1$—$Д_4$ в прямом направлении и трансформатор преобразователя оказывается зашунтированным этими диодами Оставшаяся энергия сохраняется в цепи, и протекающий в ней ток сначала разряжает конденсатор до нуля, а затем заряжает вновь, причем полярность напряжения на его обкладках первоначальная

Когда ток в первичной обмотке катушки зажигания упадет до нуля, восстанавливается нормальная работа преобразователя, и он начинает дозаряжать накопительный конденсатор (момент t_4).

Рассмотрим несколько подробней отдельные элементы конденсаторной системы зажигания и требования, предъявляемые к ним.

8. ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ НАПРЯЖЕНИЯ

В конденсаторной системе зажигания может быть использован преобразователь, в основу которого положен любой генератор с самовозбуждением и трансформаторной обратной связью. Однако из практических соображений предпочтение следует отдать двухтактным преобразователям, в которых используется генератор, собранный по схеме с общим коллектором. В этом случае корпуса транзисторов, с которыми обычно соединен коллекторный вывод, могут быть непосредственно установлены на общем радиаторе, неизолированном от корпуса прибора. Это допустимо для систем электропитания, в которых отрицательный полюс батареи соединен с корпусом. В случае соединения с корпусом положительного полюса источника питания необходимо радиатор с закрепленными на нем транзисторами изолировать от корпуса

Одной из характерных особенностей преобразователей с самовозбуждением является то, что при коротком замыкании в цепи нагрузки напряжение на обмотках трансформатора падает почти до нуля и колебания в генераторе срываются. Однако в этом случае ток через транзисторы кратковременно может в несколько раз превышать рабочее значение. В связи с этим параметры трансформатора и транзисторов должны выбираться с запасом. Практически трехчетырехкратный запас по току в трансформаторе и транзисторах обеспечивает отсутствие повреждений в схеме при ее работе в реальных условиях.

Принципиальная схема преобразователя напряжения, собранного по схеме с общим коллектором, показана на рис. 16.

Напряжение питания $U_н$, приложенное к коллекторам транзисторов и средней точке обмотки трансформатора $Тр_1$, вызывает ток, который протекает по параллельно соединенным цепям, состоящим из резисторов R_1, R_2, R_3, R_4 и транзисторов $Т_1$ и $Т_2$

Вследствие разброса параметров резисторов и транзисторов в одной половине первичной обмотки трансформатора ток будет несколько большим, чем в другой. Предположим, что в верхней половине первичной обмотки ток несколько больший, чем в нижней. В этом случае падение напряжения на обмотках обратной связи, к концам которых подключены резисторы R_3 и R_4, стремится отпереть транзистор $Т_1$ и запереть транзистор $Т_2$. Это приводит к увеличению тока через верхнюю половину обмотки трансформатора. Дальнейшее увеличение тока, происходящее лавинообразно, приведет к тому, что транзистор $Т_1$ отопрется, а транзистор $Т_2$ запрется. Транзистор $Т_1$ будет отперт до тех пор, пока магнитный поток в сердечнике трансформатора не достигнет насыщения Так как при этом скорость изменения магнитного потока становится очень малой, то э. д. с. в обмотках трансформатора также значительно уменьшится. Происходящее при этом резкое уменьшение тока вызывает появление в обмотках э д. с. противоположной полярности, которая запирает транзистор $Т_1$ и отпирает транзистор $Т_2$. Вследствие малого времени переключения транзисторов $Т_1$ и $Т_2$ напряжение на каждой половине обмотки трансформатора имеет прямоугольную форму.

Во вторичной обмотке трансформатора $Тр_1$ индуктируется переменное напряжение, выпрямляемое затем двухполупериодным выпрямителем на диодах $Д_1$—$Д_4$ Напряжение на выходе преобразователя $U_в$ обычно 250—400 *в*.

Приведенное объяснение принципа действия преобразователя предполагает, что коллекторный ток используемых в генераторе транзисторов достаточен для насыщения сердечника трансформатора, хотя принципиально генератор может работать и в режиме, при котором максимальный коллекторный ток не вызывает насыщения сердечника. Однако такого режима следует избегать, так как тогда генератор работает менее устойчиво и преобразователь становится менее экономичным. Подробно с принципами работы и расчетом преобразователей можно познакомиться в специальной литературе.

Практически наиболее подходящими для работы в преобразователе являются транзисторы П210 и П210А В случае их отсутствия могут быть использованы транзисторы и других типов, например П4Б, П209, П209А и др

Резисторы R_1 и R_2, которые служат для подачи начального смещения на базы транзисторов T_1 и T_2, необходимы для надежного запуска преобразователя и в зависимости от параметров используемых транзисторов могут иметь сопротивления от 200 *ом* до 1,5 *ком*. Следует иметь в виду, что для транзисторов с большим коэффициентом усиления по току можно брать большие сопротивления, при этом экономичность преобразователя возрастает. Резисторы R_3 и R_4, ограничивающие базовый ток транзисторов T_1 и T_2, должны иметь сопротивление около 20 *ом*. Диоды $Д_1$—$Д_4$ рассчитываются на рабочее напряжение, используемое для заряда накопительного конденсатора, и должны выдерживать воздействие импульсных нагрузок, которые возникают при замыкании накоротко выхода преобразователя тиристором в момент его включения. Теоретически лучше использовать германиевые диоды, так как внутреннее сопротивление у них меньше, и импульсная мощность, рассеиваемая на них, меньше. Однако из-за своих высоких эксплуатационных характеристик с успехом могут быть использованы и кремниевые диоды. Хорошие результаты получены при использовании диодов Д7Ж, Д205 и Д226.

В случае самостоятельного расчета преобразователя необходимо иметь в виду, что напряжение на его выходе не должно превышать рабочего напряжения используемого тиристора при наибольшем напряжении в первичной цепи, которое на максимальных оборотах вала двигателя может достигать 14—16 *в*.

9. СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Схемы управления, используемые в конденсаторных системах зажигания, служат для формирования запускающего импульса на управляющем электроде тиристора, который должен подаваться в момент размыкания контактов прерывателя Схема должна формировать импульсы достаточной для включения тиристора амплитуды и длительности при различных условиях эксплуатации и обеспечивать получение только одного запускающего импульса даже при наличии некоторого «дребезга» контактов прерывателя. Возможность запуска схемы в момент замыкания контактов прерывателя должна быть полностью исключена.

На рис. 18 представлена схема управления на диодах, которая может быть использована при соединении корпуса автомобиля с отрицательным полюсом источника питания.

Предположим, что в начальный момент времени контакты прерывателя K разомкнуты Тогда с делителя, состоящего из диода $Д_2$

и резистора R_1, на управляющий электрод тиристора $Д_1$ подается отрицательное запирающее напряжение, которое предохраняет тиристор от запуска каким-либо случайным импульсом в цепи управляющего электрода. Диод $Д_2$ ограничивает запирающее напряжение примерно на уровне 0,6—0,7 *в* При этом напряжение на конденсаторе C_2 равно нулю, так как он разряжается через диод $Д_4$ и резистор R_4, а конденсатор C_1 заряжается до напряжения, близкого к $U_в$

При замыкании контактов прерывателя конденсатор C_2 заряжается через диод $Д_2$ и резистор R_3 до напряжения, близкого к $U_н$. Так как тиристор может запускаться импульсами тока очень малой длительности, то постоянная времени заряда конденсатора C_2 выбрана равной 1 *мсек*, чтобы избежать возможности возникновения дополнительного запускающего импульса из-за «дребезга» контактов прерывателя после их замыкания.

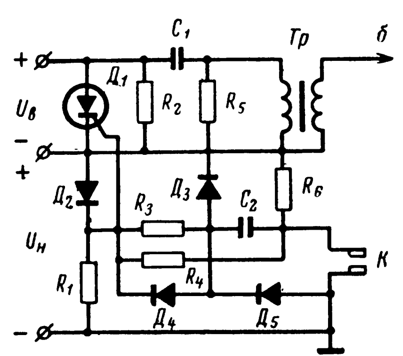


Рис. 18. Принципиальная схема системы управления на диодах.

При размыкании контактов прерывателя напряжение, до которого заряжен конденсатор C_2, оказывается приложенным через диод $Д_4$ и резистор R_6 между катодом и управляющим электродом (плюсом к управляющему электроду). Благодаря этому тиристор отпирается и конденсатор C_1 разряжается через отпертый тиристор на первичную обмотку катушки зажигания *Тр*, что сопровождается процессами, описание которых было приведено выше (см рис. 17). Резистор R_5 и диоды $Д_3$ и $Д_5$ пропускают отрицательный импульс тока от катушки зажигания, который полностью заряжает конденсатор C_2 в противоположной полярности вслед за срабатыванием тиристора. При этом напряжение на управляющем электроде тиристора достигает своего первоначального отрицательного значения 0,6—0,7 *в* примерно через 100 *мксек*.

Таким образом, получается запускающий импульс положительной полярности длительностью 100 *мксек*, благодаря чему обеспечивается образование лишь одной искры после размыкания контактов прерывателя. Резистор R_2 служит для разряда конденсатора C_1 после выключения питания системы зажигания, предохраняя от поражения током при обслуживании системы Сопротивление резистора R_6 определяет ток через контакты прерывателя

На рис. 19 представлена принципиальная схема системы управления с использованием транзистора, которая работает следующим образом.

При замкнутых контактах прерывателя *К* потенциал эмиттера транзистора *Т*, подаваемый с делителя R_4, R_5, превышает потенциал базы транзистора, и он заперт. При этом напряжение на коллекторе транзистора равно $U_п$, и конденсатор C_2 через диод $Д_2$ и включенный параллельно ему резистор R_2 заряжается до этого напряжения. При размыкании контактов прерывателя *К* через транзи-

стор T начинает протекать ток и напряжение на его коллекторе падает приблизительно до 3 *в*. Тогда напряжение конденсатора C_2 оказывается приложенным плюсом к управляющему электроду тиристора, и он отпирается, замыкая цепь, соединяющую накопительный конденсатор C_1 с первичной обмоткой катушки зажигания *Тр*. Далее протекают процессы, описание которых было дано выше. Постоянные времени заряда и разряда конденсатора C_2 выбираются такими, что исключить возможность срабатывания схемы при наличии «дребезга» контактов прерывателя. Стабилитрон $Д_3$ служит для защиты транзистора T от импульсных напряжений, которые могут возникать в цепи его питания. Резистор R_6 определяет ток через контакты прерывателя. Резистор R_1 служит для разряда конденсата C_1 после выключения схемы.

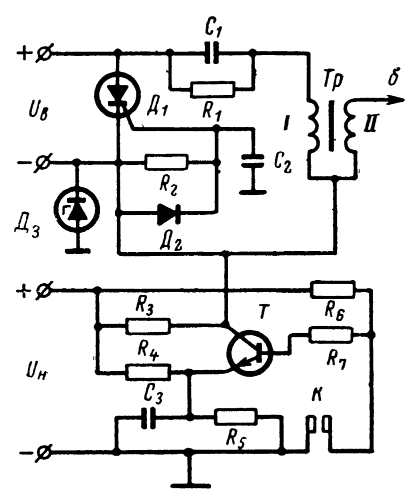


Рис. 19. Принципиальная схема системы управления на транзисторе.

Недостатком перечисленных схем управления является то, что выход преобразователя должен быть изолирован от корпуса, что создает трудности при конструировании и изготовлении подобных систем.

На рис. 20 приведена схема управления на транзисторе, которая лишена отмеченного недостатка. При замкнутых контактах прерывателя K транзистор T заперт, и управляющий электрод тиристора $Д_1$ находится практически под нулевым потенциалом. В это время конденсатор C_1 через резистор R_1 заряжается до напряжения, близкого к $U_н$. При размыкании контактов прерывателя через резисторы R_2 и R_4 начинает протекать ток, отпирающий транзистор T Это приводит к тому, что напряжение, до которого заряжен конденсатор C_1 через резистор R_3, транзистор T, и резистор R_5, оказывается приложенным между катодом и управляющим электродом тиристора $Д_1$ плюсом к управляющему электроду. Транзистор отпирается, и конденсатор C_2 разряжается на катушку зажигания *Тр*. После того как конденсатор C_1 полностью разрядится (постоянная времени разряда около 30 *мксек*), транзистор T продолжает проводить ток, который определяется теперь сопротивлением резистора R_1. Сопротивление этого резистора выбирается таким, чтобы напряжение на резисторе R_5 при максимальном напряжении источника питания $U_н$ не превышало напряжения запуска тиристора Когда контакты прерывателя снова замкнутся, транзистор T запирается и конденсатор C_1 начинает заряжаться через резистор R_1. Постоянная времени заряда выбирается такой, чтобы время, через которое возможен повторный запуск тиристора $Д_1$ под воздействием импульса напряжения, возникающего за счет разряда конденсатора C_1, составляло около 1 *мсек* Минимальное напряжение на конденсаторе C_1, при

котором возможен запуск тиристора $Д_1$, должно составлять примерно 25% от напряжения $U_п$, благодаря чему достигается защита от «дребезга» контактов прерывателя Сопротивление резистора R_4 должно быть таким, чтобы запуск тиристора $Д_1$ происходил при напряжении питания не ниже 7,5 *в*. Увеличивая сопротивление резистора R_4, доводят базовый ток до минимума, при котором падение напряжения на резисторе R_5 составляет 0,1—0,2 *в* В то же время должен быть гарантирован надежный запуск тиристора в холодную зимнюю погоду, так как при низких температурах коэффициент усиления по току транзистора *Т* уменьшается и, следовательно, амплитуда управляющего импульса, необходимого для запуска тиристора $Д_1$, должна быть больше. Диод $Д_2$ предохраняет управляющий электрод тиристора $Д_1$ от высоких отрицательных напряжений, которые могут возникнуть при работе прибора.

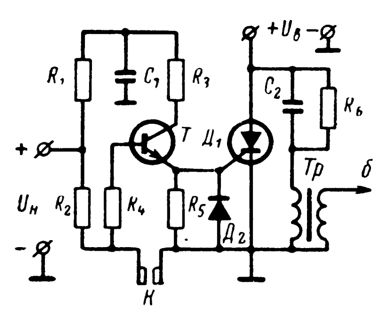


Рис. 20. Принципиальная схема системы управления на транзисторе с подключением «минуса» батареи на корпус.

Принципиально возможно коммутировать ток контактами прерывателя непосредственно на базе транзистора *Т*. Однако при практическом использовании такой способ коммутации себя не оправдал, так как запуск был неудовлетворительным и зажигание осуществлялось с перебоями. Это объясняется тем, что, как было показано выше, для увеличения долговечности контактов прерывателя требуется определенный оптимальный ток При очень малых рабочих токах контакты прерывателя быстро загрязняются, не обеспечивая надежного электрического соединения. При больших токах контакты прерывателя начинают подгорать. Таким образом, для нормальной работы контактов прерывателя требуются умеренные токи, которые устанавливаются с помощью резистора R_2 в пределах 0,25—1 *а*.

На рис. 21 представлена простейшая схема управления с трансформатором.

При замыкании контактов прерывателя *К* в цепи, состоящей из резистора R_2 и первичной обмотки трансформатора $Тр_2$, начинает протекать ток, максимальное значение которого определяется сопротивлением резистора R_2 и первичной обмотки трансформатора $Тр_2$ В момент замыкания контактов прерывателя *К* во вторичной обмотке трансформатора $Тр_2$ образуется импульс напряжения отрицательной полярности, который шунтируется диодом $Д_2$ и не вызывает срабатывания тиристора $Д_1$. За счет возникающей при размыкании контактов прерывателя *К* э. д с. самоиндукции во вторичной обмотке трансформатора $Тр_2$ возникает положительный импульс напряжения, вызывающий срабатывание тиристора $Д_1$ и подключающий заряженный накопительный конденсатор C_1 к катушке зажигания *Тр*

При применении этой схемы необходимо обратить особое внимание на цепь, образуемую резистором R_2 и первичной обмоткой

трансформатора Tp_2. Постоянная времени этой цепи выбирается такой, чтобы время накопления энергии в трансформаторе, достаточной для запуска тиристора, составляло примерно 1 *мсек*. Это необходимо для того, чтобы ток в цепи первичной обмотки достигал максимального значения не мгновенно после замыкания контактов прерывателя, а спустя некоторое время, в течение которого возможен «дребезг» контактов прерывателя У малогабаритных импульсных трансформаторов с малой индуктивностью обмоток постоянная времени также мала и ток в первичной обмотке нарастает очень быстро, не обеспечивая защиту от «дребезга» контактов прерывателя. При использовании такого трансформатора в качестве трансформатора Tp_2 его первичную обмотку следует зашунтировать диодом $Д_3$ (на рис. 21 показан пунктиром). При этом происходит перераспределение токов между трансформатором и диодом. В первоначальный момент после замыкания контактов прерывателя индуктивное сопротивление первичной обмотки трансформатора Tp_2 велико и основной ток протекает через диод. Далее индуктивное сопротивление уменьшается и ток через обмотку увеличивается, благодаря чему обеспечивается защита от «дребезга» контактов прерывателя.

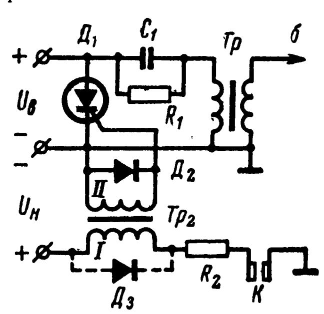


Рис. 21. Принципиальная схема системы управления с трансформатором.

Достоинством этой схемы является ее простота и возможность использования в автомобилях, с корпусом которых может быть соединен или положительный, или отрицательный полюс источника питания. При изменении полярности источника питания необходимо лишь поменять местами концы одной из обмоток трансформатора.

В заключение необходимо сказать несколько слов о видоизменениях схем управления в тех случаях, когда напряжение переключения тиристоров ниже рабочего напряжения, которое требуется для накопления энергии в конденсаторе. Для предотвращения самопроизвольного включения тиристоров они в этом случае могут быть соединены по нескольку штук последовательно При этом суммарное напряжение включения тиристоров должно быть выше рабочего. Вследствие того, что напряжение на последовательно включенных тиристорах распределяется обратно пропорционально току утечки, надо принять необходимые меры, обеспечивающие равномерное распределение напряжения на них.

Наиболее простой способ заключается в шунтировании каждого тиристора резистором. Максимальное сопротивление такого резистора может быть вычислено по следующей формуле:

$$R = \frac{nU_{\text{вкл}} - U_{\text{раб}}}{(n-1)\,I_{\text{ут}}},$$

где $U_{\text{вкл}}$ — минимальное напряжение включения одного тиристора, *в*;

$U_{раб}$ — максимальное амплитудное значение рабочего напряжения, приложенного к цепочке, *в*;
n — число последовательно включенных тиристоров;
$I_{ут}$ — максимальный прямой ток утечки, *а*.

При последовательном включении тиристоров их цепи управления должны быть изолированы друг от друга Разделение цепей управления удобно осуществлять при помощи импульсных трансформаторов с нескол'кими изолированными обмотками. В каждую цепь управления тиристором желательно включить резистор с небольшим сопротивлением или конденсатор емкостью 0,1 *мкф* во избежание шунтирующего действия цепи управления с более низким сопротивлением на управляющую цепь с более высоким сопротивлением. Схемы управления с последовательно включенными тиристорами приведены на рис. 22 На рис. 22,*а* показана схема управления на импульсном трансформаторе *ИТ*. Резисторы R_1 и R_2 служат для выравнивания напряжения на тиристорах $Д_1$ и $Д_3$. Резисторы R_3 и R_4 (или конденсаторы вместо них) — развязывающие. Диоды $Д_2$ и $Д_4$ ограничивают отрицательное напряжение на управляющих электродах тиристоров.

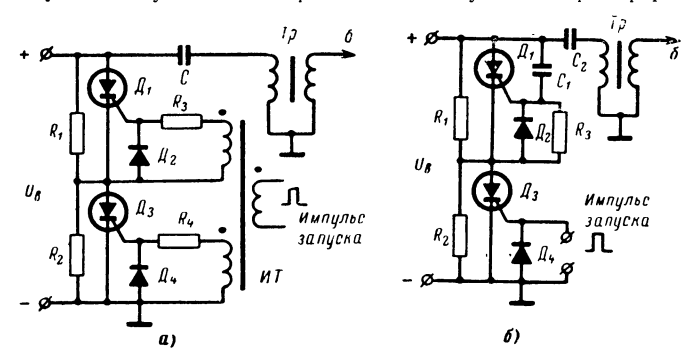


Рис. 22. Схемы управления с последовательно включенными тиристорами.

На рис. 22,*б* приведен еще один способ построения схемы запуска последовательно включенных тиристоров. Тиристор $Д_3$ запускается непосредственно от источника управляющего сигнала. Тиристор $Д_1$ запускается импульсом зарядного тока конденсатора C_1, когда напряжение на тиристоре $Д_3$ быстро спадает при его переходе во включенное состояние Резисторы R_1 и R_2 служат для выравнивания напряжений на тиристорах $Д_1$ и $Д_3$, а диоды $Д_2$ и $Д_4$ — для ограничения отрицательного напряжения на управляющих электродах.

10. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Рассмотрим дополнительные усовершенствования, которые в некоторых случаях бывает полезно ввести в схему конденсаторных систем зажигания. При эксплуатации автомобиля с аккумулятором, у которого емкость снизилась и увеличилось внутреннее сопротивление, в момент пуска двигателя напряжение может упасть до 6—

6,5 *в* и пуск двигателя даже с электронной системой зажигания будет затруднен. Для того чтобы компенсировать снижение энергии искрообразования в момент пуска, можно идти двумя путями. Первый путь — увеличение емкости накопительного конденсатора в момент пуска двигателя, второй путь — увеличение напряжения на накопительном конденсаторе в момент пуска.

Поскольку при пуске стартером скорость двигателя невелика, то подключение в это время к накопительному конденсатору дополнительного конденсатора емкостью, в 3—4 раза превышающей основную, не отражается на работе системы. Энергия искрообразования в этом случае существенно увеличится. Так, например, при снижении напряжения первичного источника вдвое примерно вдвое снижается и напряжение на выходе преобразователя, и для того чтобы энергия искрообразования осталась неизменной, необходимо увеличить емкость конденсатора в 4 раза. Схема включения такого дополнительного накопительного конденсатора приведена на рис. 23.

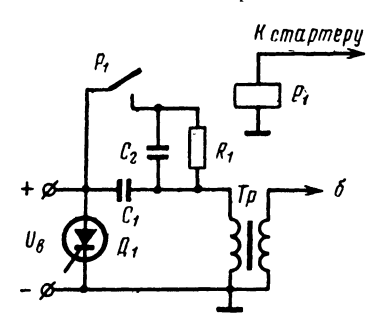


Рис. 23. Схема включения дополнительного накопительного конденсатора.

Если емкость основного конденсатора C_1 равна 2 *мкф*, то емкость дополнительного конденсатора C_2 должна быть 6 *мкф*. Резистор R_1 служит для разряда конденсатора после его отключения и берется сопротивлением 0,3—0,5 *Мом*. Реле P_1 имеет всего одну пару нормально разомкнутых контактов и рассчитано на работу при напряжении 6 *в*. Оно может быть подключено либо параллельно стартеру, либо непосредственно к стартерному зажиму замка зажигания. Реле и дополнительный конденсатор можно расположить в том же кожухе, что и основную схему, или вблизи нее на отдельном кронштейне.

Другой способ увеличения энергии искрообразования состоит в том, чтобы сохранить выходное напряжение преобразователя на прежнем уровне. В схеме на рис. 24,*а* нормально замкнутый контакт реле P_1 подсоединен к части выходной обмотки трансформатора $Тр_1$ преобразователя. В момент пуска двигателя реле подсоединяет выходной выпрямитель ко всей обмотке и напряжение на выходе преобразователя увеличивается Увеличивая или уменьшая количество витков в дополнительной обмотке, можно подобрать необходимое напряжение. Для удобства регулировки выходного напряжения дополнительную обмотку целесообразно сделать с отводами. Реле P_1 включается в схему так же, как и в предыдущем случае.

На рис 24,*б* показан еще один способ повышения выходного напряжения при пуске двигателя. В этом случае на выходе преобразователя используется не мостовая схема, как обычно, а двухполупериодная с отводом от средней точки. Нормально замкнутый контакт реле P_1 соединяет среднюю точку выходной обмотки трансформатора $Тр_1$ преобразователя с корпусом. В момент пуска двигателя реле P_1 срабатывает и соединяет с корпусом один из концов

обмотки После этого преобразователь начинает работать с однополупериодным выпрямителем на выходе и напряжение на нем увеличивается почти вдвое Некоторое увеличение времени заряда накопительного конденсатора при однополупериодном выпрямителе несущественно, так как скорость двигателя в момент пуска, как уже указывалось, мала и конденсатор успевает подзарядиться. Если выходное напряжение при этом слишком велико, то в цепь питания преобразователя последовательно включают резистор R_1, сопротивление которого выбирается таким, чтобы получить на выходе пре-

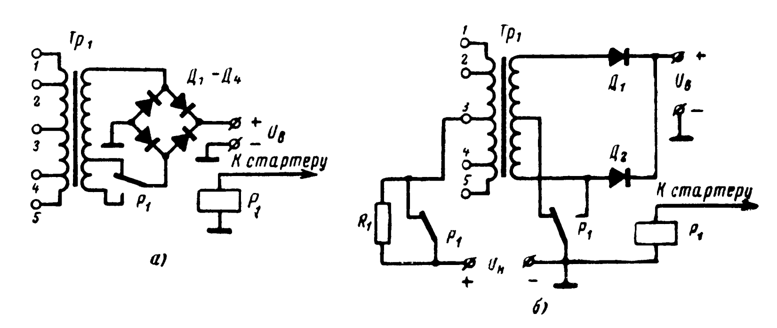


Рис. 24. Схемы переключения обмоток в трансформаторе преобразователя для получения повышенного напряжения в момент пуска двигателя.

образователя в момент пуска двигателя нужное напряжение. После выключения стартера контакты реле P_1 возвращаются в исходное положение и резистор R_1 замыкается накоротко парой контактов этого реле, а вторая пара контактов переключает выпрямитель преобразователя для работы по двухполупериодной схеме.

В заключение рассмотрим вариант построения схемы, обеспечивающий постоянство выходного напряжения при изменениях питающего напряжения в широких пределах На рис 25 приведена принципиальная схема такого устройства. Питание преобразователя (на рисунке показан только трансформатор преобразователя $Тр_1$ и выпрямитель) производится с помощью электронного ключа, выполненного на транзисторе T_4 Управление электронным ключом осуществляет пороговая схема, выполненная на транзисторах T_1 и T_2. Пороговая схема работает так, что при достижении определенного напряжения на накопительном конденсаторе (точка *а* на рис. 25) она переключается и электронный ключ размыкается При этом отключается питание генератора преобразователя и он перестает работать После разряда накопительного конденсатора напряжение на нем становится равным нулю, пороговая схема переключается в обратном направлении и электронный ключ замыкается. Преобразователь начинает работать, накопительный конденсатор заряжается, пороговая схема при достижении определенного потенциала опять срабатывает и процесс повторяется.

Выходное напряжение преобразователя в этой схеме выбирается таким, чтобы оно было немного больше рабочего при самом низком напряжении источника питания В обычных схемах этого делать нельзя, так как при повышении напряжения источника питания

выходное напряжение увеличивается до недопустимых пределов. В рассматриваемой схеме этого не происходит потому, что при достижении рабочего напряжения на накопительном конденсаторе преобразователь немедленно выключается. Эта схема хороша еще и тем, что включившийся тиристор не шунтирует генератор, который

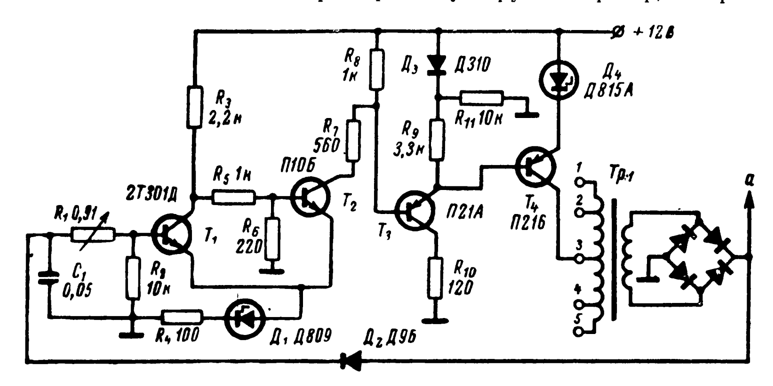


Рис. 25. Схема стабилизации напряжения на накопительном конденсаторе.

к этому времени уже выключен, а следовательно, и режим транзисторов и диодов, работающих в преобразователе, существенно улучшается. Конденсатор C_1 служит для увеличения времени отпирания электронного ключа, что необходимо для выключения тиристора Резистор R_1 служит для регулировки уровня выходного напряжения Чем больше его сопротивление, тем больше выходное напряжение. Каскад на транзисторе T_3 буферный.

11. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ С ТИРИСТОРАМИ

Кремниевые управляемые вентили — тиристоры предназначены для работы в радиотехнических устройствах и схемах автоматики в качестве ключевых элементов.

Тиристоры, используемые в конденсаторных системах зажигания, как правило, должны работать в широком интервале рабочих температур (от —60 до +100° С). Не следует располагать тиристоры рядом с деталями, сильно нагревающимися во время работы Для улучшения температурного режима тиристоры можно снабдить теплоотводящими радиаторами либо крепить непосредственно на теплоотводящем шасси. Место крепления тиристора на шасси или радиаторе должно быть гладким, без заусениц, а само крепление достаточно прочным. При эксплуатации тиристоров отрицательное напряжение на управляющем электроде по отношению к катоду никогда не должно превышать допустимого Если есть опасение, что отрицательное управляющее напряжение может превысить допустимое, то последовательно с управляющим электродом или между катодом и управляющим электродом тиристора необходимо включить диод, чтобы ограничить обратное напряжение на управляющем электроде.

Пайка тиристоров должна производиться низкотемпературным припоем маломощным (50—60 *вт*) паяльником в течение 2—3 *сек* с теплоотводом между стеклянным изолятором тиристора и местом пайки, причем температура корпуса тиристора при пайке не должна превышать +120° С Расстояние от места пайки до стеклянного изолятора тиристора должно быть не менее 7—10 *мм*.

Наиболее подходящим для работы в конденсаторных системах зажигания являются тиристоры типа УД63К и КУ201Л с рабочим напряжением 300 *в*.

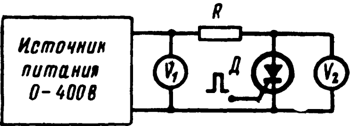


Рис. 26. Схема для измерения напряжения переключения тиристора.

Проверить напряжение включения тиристора можно по схеме, приведенной на рис. 26. Источник питания должен иметь плавную регулировку выходного напряжения до значения, превышающего напряжение переключения испытуемого тиристора Процесс проверки происходит следующим образом Плавно увеличивая напряжение источника питания, следят за показаниями вольтметров V_1 и V_2 Эти показания будут совпадать или незначительно различаться за счет падения напряжения на резисторе R, создаваемого током утечки тиристора и потреблением вольтметра V_2. При достижении напряжения переключения напряжение, измеряемое вольтметром V_2, резко упадет, так как тиристор включится и зашунтирует вольтметр. По показанию вольтметра в момент включения тиристора можно судить о напряжении переключения. При наличии только одного вольтметра его надо включить на место вольтметра V_2 и следить, какое будет напряжение перед тем, как оно резко упадет. Сопротивление резистора R может быть в пределах 5÷10 *ком*. Ток утечки тиристоров, используемых в конденсаторных системах зажигания, не должен превышать 1 *ма*.

12. ПРАКТИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОНДЕНСАТОРНЫХ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

На рис. 27 приведена принципиальная схема конденсаторной системы зажигания, хорошо зарекомендовавшая себя на практике. Конструктивно эта система выполнена в виде двух блоков В первом блоке (*А*), который размещается в кабине автомобиля, смонтирован преобразователь напряжения, а во втором (*Б*), который крепится непосредственно на катушке зажигания под капотом, размещены остальные элементы схемы. Общий вид системы приведен на рис 28.

В схеме использован транзисторный преобразователь напряжения, принцип работы которого был описан выше (см. рис. 18). В преобразователе имеется отвод от средней точки вторичной обмотки трансформатора, который используется для подключения к схеме через гнезда *Г* электробритвы на напряжение 127 *в*.

Трансформатор $Тр_1$ преобразователя намотан на кольцевом витом сердечнике из материала 34НКМП толщиной 0,1 *мм*. Сердечник имеет внутренний диаметр 36 *мм*, наружный диаметр 56 *мм* при высоте ленты 10 *мм*. Обмотки *I* и *II* (рис. 27) имеют по 43 витка провода диаметром 0,9 *мм* Обмотки *III* и *IV* имеют по 14 витков провода диаметром 0,35 *мм*. Обмотки *V* и *VI* имеют по 790 витков

Рис. 27. Практическая схема конденсаторной системы зажигания.

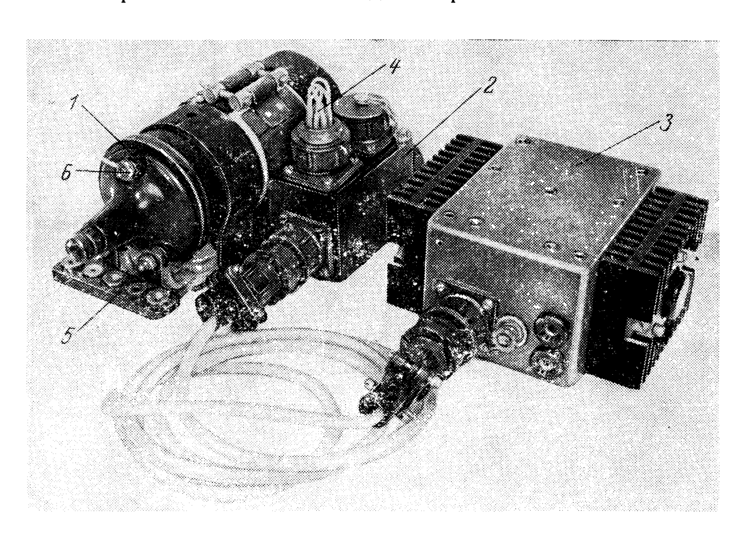


Рис. 28. Общий вид электронной системы зажигания.

1 — катушка зажигания, *2* — блок *Б*; *3* — блок *А*; *4* — вставка *Вст.*; *5* — плата *ПС*; *6* — вывод 0.

Таблица 1

Типоразмер магнитопровода	Материал магнитопровода	Толщина пластин магнитопровода, *мм*	Параметры обмоток					
			I и II		III и IV		V и VI	
			Число витков	Диаметр провода, *мм*	Число витков	Диаметр провода, *мм*	Число витков	Диаметр провода, *мм*
Витой, разрезной ШЛ10 × 20	Э-350	0,08	23	0,86	7,5	0,35	400	0,23
Тороидальный 32/50-16	Э-350	0,08	32	1,16	11	0,35	550	0,31
Ш16 × 16	Э-350	0,15	35	1,0	10	0,3	570	0,2

провода диаметром 0,31 *мм*. Все обмотки намотаны проводом ПЭВ-2.

В случае отсутствия указанного сердечника трансформатор может быть выполнен в соответствии с данными, приведенными в таблице. При указанных параметрах выходное напряжение преобразователя составляет 300 *в*. При питании от источника с напряжением 6 *в* число витков обмоток *I* и *II* следует уменьшить вдвое, а обмотку намотать в два провода.

Для лучшей симметрии генератора преобразователя одинаковые обмотки рекомендуется мотать в два провода с последующим соединением их концов в соответствии с принципиальной схемой. Сначала надо мотать обмотки *I* и *II*, затем симметрично им обмотки *III* и *IV*, а поверх их обмотки *V* и *VI*.

Резисторы R_1—R_4 типа ПТМН-1 или любого другого типа на мощность в 1 *вт* проволочные. Предохранитель *Пр* на ток 2 *а*

Конструкция преобразователя показана на рис. 29 Кожух преобразователя является несущей конструкцией, к которой прикреплены: трансформатор $Тр_1$, разъем $Р_1$, гнезда *Г*, предохранитель *Пр* и монтажная плата. На монтажной плате размещены диоды $Д_1$—$Д_4$, резисторы R_1—R_4 и цанги для зажима выводов транзисторов $Т_1$ и $Т_2$. Все элементы преобразователя, включая радиаторы транзисторов $Т_1$ и $Т_2$, изолированы от корпуса, что дает возможность использовать его в автомобилях, с корпусом которых может быть соединен как плюс, так и минус аккумуляторной батареи.

В данной схеме использована система управления тиристором, подобная приведенной на рис. 21. В качестве трансформатора $Тр_2$ использован малогабаритный импульсный трансформатор МИТ-4. При использовании импульсного трансформатора, индуктивность обмоток которого мала, нарастание тока в первичной обмотке происходит за весьма малое время, которое недостаточно для защиты от «дребезга» контактов прерывателя. В данной схеме для защиты от «дребезга» контактов служит диод $Д_7$.

За время переходного процесса ток через дидод $Д_7$ будет уменьшаться, а ток в первичной обмотке трансформатора $Тр_2$ будет увеличиваться Параметры схемы выбраны таким образом, что время, за которое ток в первичной обмотке трансформатора $Тр_2$ нарастает до величины, достаточной для срабатывания тиристора при размыкании контактов прерывателя *K*, составляет примерно 3 *мсек* и таким образом происходит защита от «дребезга».

Резистор R_5 типа МЛТ-0,5; резистор R_6 проволочный (может быть использован резистор МЛТ-2); конденсатор C_1 типа МБГО на напряжение 400 *в*. Малогабаритный импульсный трансформатор $Тр_2$ намотан на ферритовом сердечнике с $\mu=300$ наружным диаметром 17, внутренним — 7 и высотой 5 *мм* и имеет три одинаковые обмотки по 150 витков, намотанные проводом ПЭВ-0,3.

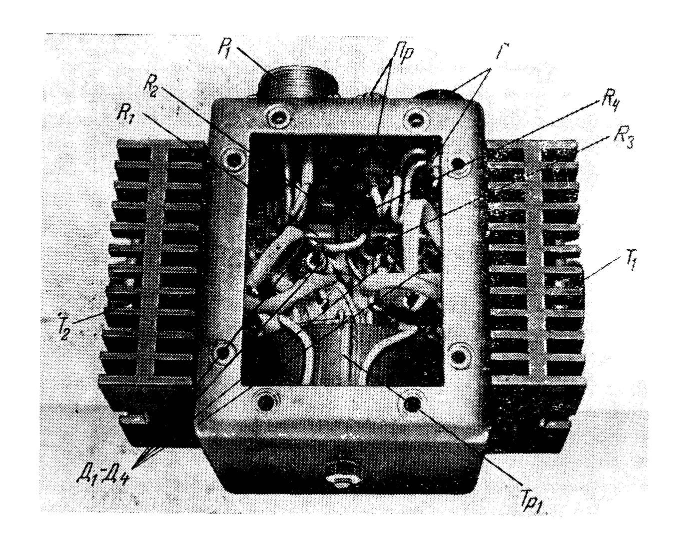
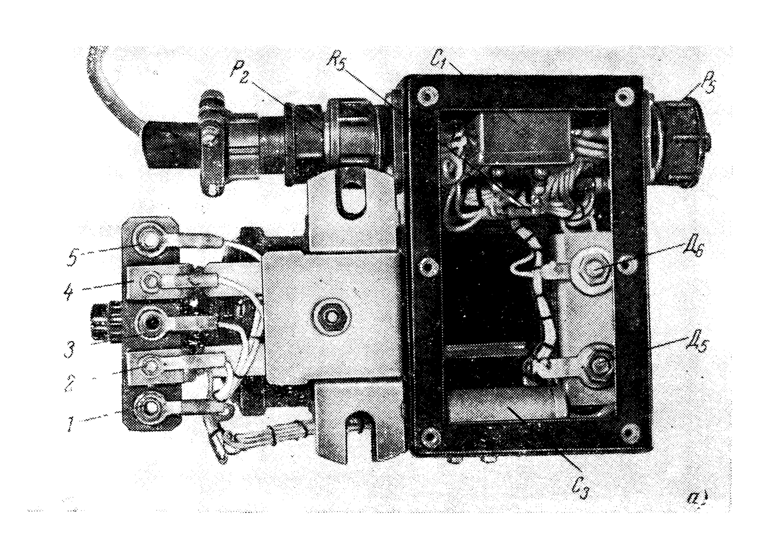


Рис. 29. Вид блока *А* со стороны монтажной платы.

Наличие третьей обмотки на импульсном трансформаторе (на схеме не показана) позволяет легко осуществить в случае необходимости запуск двух тиристоров, включенных последовательно.

Схема коммутации обеспечивает быстрый переход от электронной системы зажигания к обычной, электромеханической. Коммутация осуществляется с помощью разъемов P_1 и P_2. Подключение электронной системы к схеме электропитания автомобиля осуществляется с помощью соединительной планки *ПС*. Переход от электронной системы зажигания к электромеханической производится путем подключения вставки *Вст* с соответствующими перемычками к разъемам P_3 или P_4. При подключении ее к разъему P_3 работает электронная система зажигания (как показано на схеме), а при подключении к разъему P_4 — электромеханическая система Следует отметить, что в данной схеме конденсатор, включенный обычно параллельно прерывателю, перенесен с распределителя в блок *Б* (конденсатор C_2) и при работе электронной системы зажигания отключается.

Соединительная планка *ПС* служит для удобства подключения системы в схему электрооборудования автомобиля Как известно, в электромеханической системе зажигания к катушке зажигания подходят три провода. Первый идет от ключа зажигания к выводу, обозначенному *ВКБ*, второй от контактов стартера к выводу,



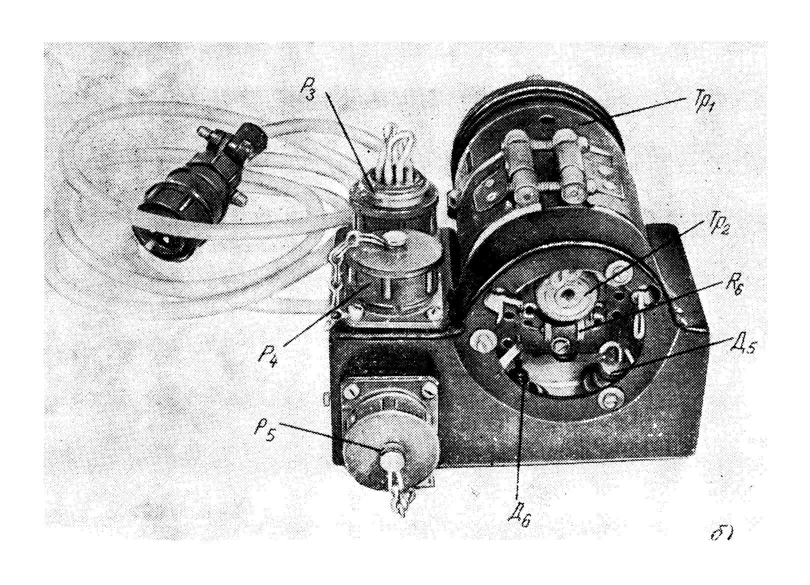


Рис. 30. Вид блока *Б*.

а — вид на монтаж со стороны соединительной колодки; *б* — вид на монтаж со стороны катушки зажигания.

обозначенному *ВК*, и третий от прерывателя к выводу, не имеющему обозначения (на схеме он обозначен *0*) Как видно из рис 30, соединительная планка *ПС* крепится непосредственно к выводам *ВКБ* и *ВК* катушки зажигания при помощи специальных кронштейнов. При этом провод, который раньше шел к выводу *ВКБ*, присоединяется к выводу *1* планки, провод который раньше шел к выводу *ВК* присоединяется к выводу *3*, а провод, идущий от прерывателя, присоединяется к выводу *5*. Отдельный проводник, выходящий из блока *Б*, подключается к выводу *0* катушки зажигания

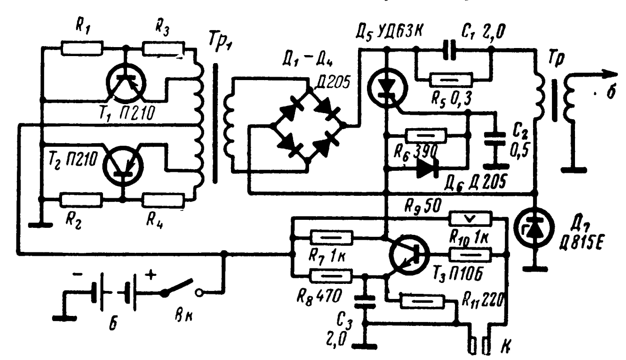


Рис. 31. Принципиальная схема конденсаторной системы зажигания.

Приведенная схема соединений весьма проста и удобна в эксплуатации. Кроме того, она служит надежной защитой от злоумышленников, так как при изъятии вставки *Вст* завести двигатель невозможно. Разъем P_5 дублирует разъем P_2 и является контрольным.

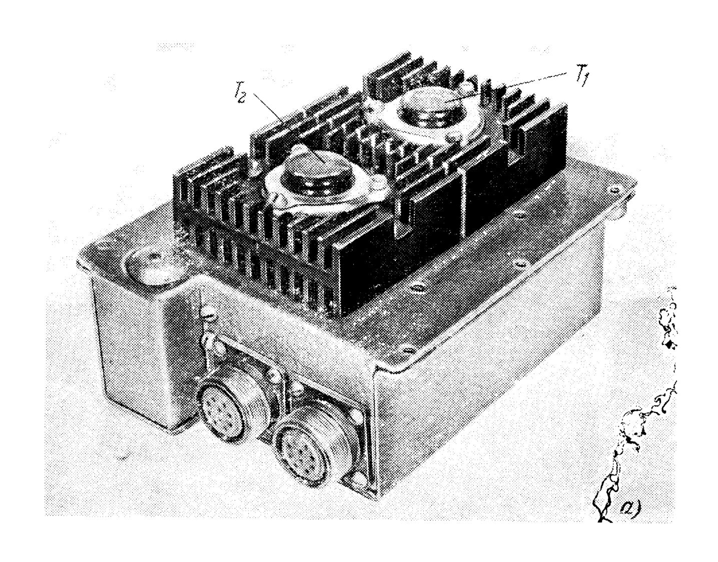
В заключение надо сказать, что правильно собранная схема в наладке не нуждается и работает весьма надежно.

На рис. 31 приведена еще одна схема конденсаторной системы зажигания. Преобразователь в этой схеме имеет те же данные, что и в предыдущей, а система управления тиристором подобна приведенной на рис. 19.

Конструктивно эта система выполнена в виде одного блока, внешний вид которого показан на рис. 32,*а*. Снаружи блока закреплены радиаторы с транзисторами преобразователя. Монтаж остальной части схемы осуществлен на гетинаксовой панели толщиной 4 *мм*, которая с помощью болтов крепится к кожуху блока. Все детали имеют механическое крепление к панели. Размещение деталей на панели хорошо видно на рис. 32,*б*.

Система коммутации на принципиальной схеме не отображена, но она может быть выполнена подобно приведенной в схеме на рис. 27. В этом случае переход от электронной схемы к электромеханической производится подключением подводящего кабеля к разным разъемам.

Резисторы R_5—R_8 и R_{10}, R_{11} типа МЛТ, резистор R_9 проволочный; конденсатор C_1 типа МБГО на напряжение 400 *в*; конденсаторы C_2 и C_3 типа МБГО на напряжение 160 *в*. Данная схема при правильной сборке не требует налаживания и надежна в эксплуатации.



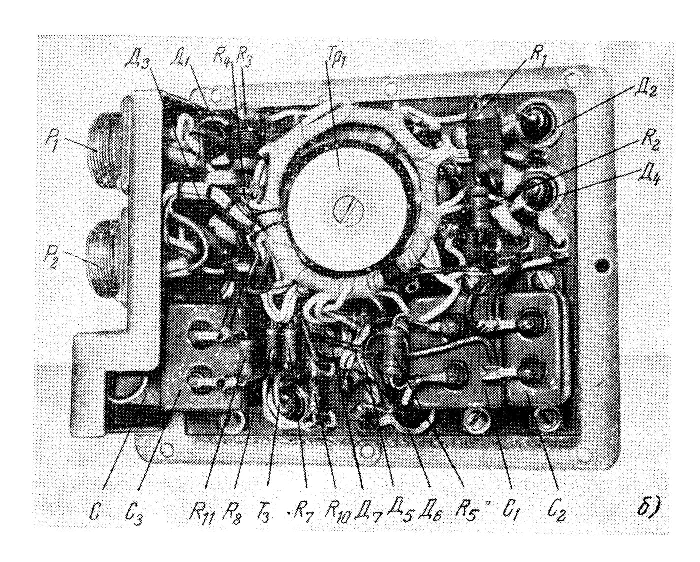


Рис. 32. Конструкция конденсаторной системы зажигания.
а — общий вид; *б* — вид со стороны монтажа.

ГЛАВА ТРЕТЬЯ

ПРИБОРЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВКИ СИСТЕМЫ ЗАЖИГАНИЯ

13. ФОРМА ИМПУЛЬСОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЗАЖИГАНИЯ

Регулировка системы зажигания сводится к установке правильных временны́х соотношений между различными этапами цикла зажигания, а также к определению неисправности элементов системы и отысканию неисправного элемента. В связи с большим количеством элементов в системе зажигания и отсутствием в большинстве случаев явных признаков, указывающих на неисправность этих элементов, определение неисправности обычно производится по косвенным признакам.

Качество работы системы зажигания можно определить по форме импульсов напряжения, вырабатываемых системой. На рис. 33,*а* схематично показана форма импульсов напряжения на контактах прерывателя четырехцилиндрового двигателя с электромеханической системой зажигания в пределах одного цикла работы. По горизонтальной оси здесь отложены углы поворота вала распределителя. Высокочастотные колебания *1* в начале цикла обусловлены колебательным процессом в системе конденсатор — первичная обмотка катушки зажигания при размыкании контактов прерывателя. Длительность $\tau_з$ импульса зажигания *2* определяется запасом энергии в обмотке катушки зажигания. Высокочастотные колебания *3* на спаде импульса зажигания отражают процесс рассеяния остаточной энергии в катушке зажигания после прекращения искрового разряда. Постоянный уровень *4* соответствует напряжению аккумуляторной батареи на разомкнутых контактах. В пределах угла $\theta_р$ контакты прерывателя разомкнуты, а в пределах $\theta_з$ — замкнуты.

Описанному циклу изменения напряжения на контактах прерывателя соответствует цикл изменения напряжения на вторичной обмотке катушки зажигания, показанный на рис. 33,*б*. Амплитуда импульса в выходной цепи почти постоянна за счет стабилизирующего действия разряда в зазоре свечи (участок *5*). Высокочастотные колебания *6* вызваны перезарядом паразитных емкостей выходной цепи при замыкании контактов прерывателя.

Для того чтобы продемонстрировать влияние неисправности различных элементов системы зажигания на форму импульсов напряжения в пределах цикла зажигания, рассмотрим подробно форми-

рование импульса зажигания. На рис. 34 приведены простейшие эквивалентные схемы контура, образованного элементами системы зажигания, и соответствующие осциллограммы напряжения на контактах прерывателя.

При замыкании ключа *К* (соответствующего контактам прерывателя) в момент *А* (рис. 34,*а*) через катушку начинает протекать ток от батареи. Этот ток не создает падения напряжения на ключе,

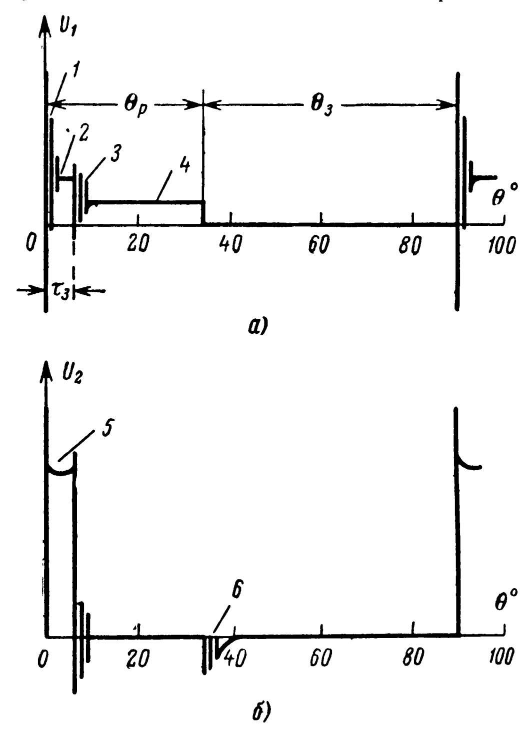


Рис. 33. Форма импульсов напряжения на контактах прерывателя (*а*) и на вторичной обмотке катушки зажигания (*б*).

так как переходное сопротивление его контактов практически равно нулю. В момент *Б* ключ размыкается и ток через его контакты прекращается. Так как скорость исчезновения магнитного потока, пронизывающего катушку, велика, то индуцируемое напряжение на разомкнутом ключе достигает в первый момент нескольких сотен вольт и быстро уменьшается до значения, равного напряжению батареи.

При подключении параллельно ключу конденсатора (рис. 34,*б*) осциллограмма напряжения на ключе резко изменяется. В интервале *А* — *Б* напряжение на ключе по-прежнему равно нулю и при размыкании контактов индуцируется высокое напряжение. Однако за

счет колебательного процесса в системе конденсатор — первичная обмотка напряжение на ключе после размыкания его контактов имеет вид затухающей синусоиды.

В том случае, когда катушка индуктивности контура зашунтирована резистором, часть тока протекает через резистор, минуя катушку. Это приводит к уменьшению амплитуды колебаний и длительности колебательного процесса в контуре. На осциллограмме рис. 34,*в* видно, что форма напряжения на контактах прерывателя и на конденсаторе в этом случае близка к форме напряжения, характерной для контура, приведенного на рис. 34,*а*.

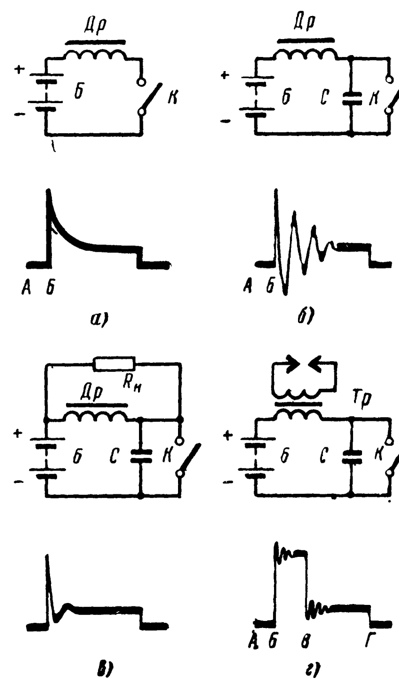


Рис. 34. Эквивалентные схемы контура и соответствующие им формы импульсов напряжения на контактах прерывателя для различных условий работы системы зажигания.

И, наконец, на рис. 34,*г* показан случай, когда катушка имеет вторичную обмотку, выводы которой разделяет лишь узкий воздушный зазор.

Когда в момент *Б* ключ размыкается, происходит заряд конденсатора до пикового значения напряжения, как и в случае, приведенном на рис. 35,*б*, а во вторичной обмотке катушки индуцируется высокое напряжение.

В результате возникновения тока во вторичной обмотке (из-за дугового разряда в воздушном зазоре) вторичная обмотка создает магнитное поле, которое индуктирует напряжение на первичной обмотке, противодействующее разряду конденсатора. В результате напряжение на конденсаторе (и разомкнутом ключе) остается неизменным в течение всего времени, пока длится дуговой разряд (участок *Б* — *В*). Небольшой колебательный процесс, накладывающийся на это постоянное напряжение, обусловлен паразитным резонансом во вторичной цепи. Когда запасенной в катушке энергии становится недостаточно для поддержания дугового разряда, ток в воздушном зазоре прекращается и конденсатор начинает разряжаться, как и в предыдущем случае (участок *В*—*Г*). Остаток энергии расходуется на колебательный процесс в первичной цепи.

Приведенные на рис. 34 схемы колебательного контура и процессы, происходящие в контурах, полностью эквивалентны различным условиям работы автомобильной системы зажигания. На рис. 35

приведены осциллограммы напряжения на контактах прерывателя реальной электромеханической системы зажигания четырехцилиндрового двигателя. На рис. 35,*а* показана последовательность импульсов напряжения, распределяемых по четырем цилиндрам двигателя с помощью распределителя, для исправной системы зажигания. Фор-

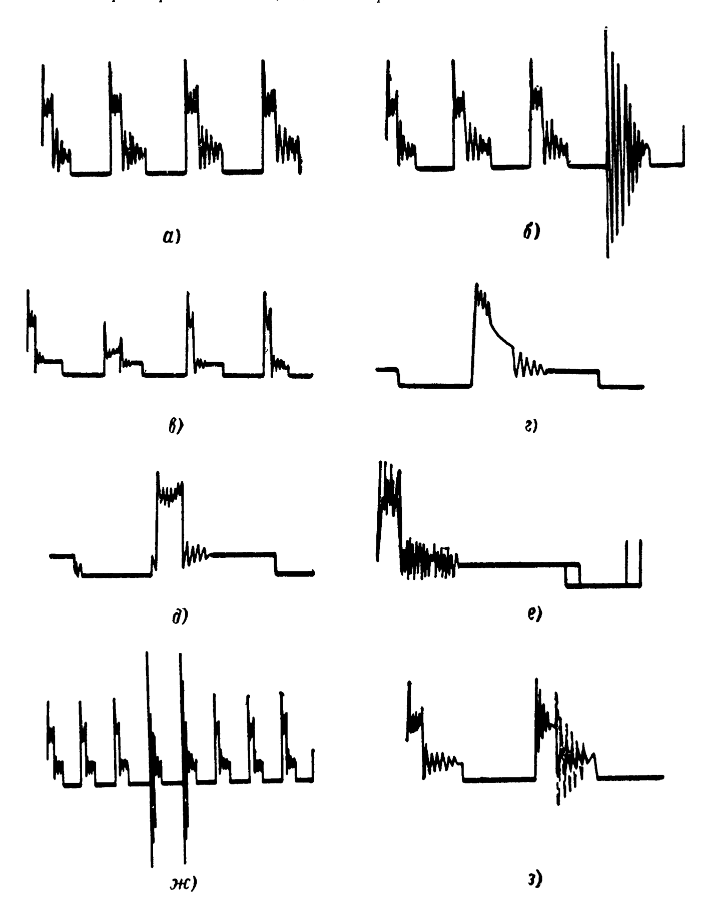


Рис. 35. Осциллограммы напряжения на контактах прерывателя.

ма каждого импульса здесь полностью соответствует импульсам, показанным на рис. 34,*г*. Отсутствие искрового разряда в одной из свечей вследствие слишком большого воздушного зазора или из-за неисправности распределителя или подводящего провода эквивалентно отсутствию вторичной цепи (см. рис. 34,*б*). Такой случай показан на рис. 35,*б* для четвертого цилиндра и на рис. 35,*ж* сразу для двух цилиндров.

Если в цепи свечи имеется короткое замыкание, то импульс на контактах прерывателя имеет малую амплитуду и расширен по сравнению с импульсами других цилиндров, однако форма его напоминает нормальные импульсы (рис. 35,*в*). Это объясняется тем, что происходит искровой разряд в узком зазоре между ротором и контактной ламелью распределителя. Такая же форма импульса наблюдается и при очень малом зазоре между электродами свечи.

При загрязненной свече, лопнувшем изоляторе свечи и других неисправностях свечи, приводящих к шунтированию искрового промежутка, искра не возникает. Об этих неисправностях можно судить по наличию небольшой плоской вершины импульса (рис. 35,*г*). Заметим, что этот случай напоминает работу эквивалентной схемы на рис. 34,*а*. Спадающая часть импульса обусловлена наличием шунтирующего сопрстивления. Однако по осциллограмме видно, что после прекращения искры форма напряжения соответствует нормальному случаю. Это значит, что шунтирующее сопротивление действует лишь во время искрового пробоя, т е. оно находится во вторичной цепи.

На рис. 35,*д* видно, что замыкание и размыкание контактов прерывателя происходит нечетко. Причиной этого является загрязненный или неисправный контакт прерывателя, разболтанное крепление оси контакта, или слабое натяжение пружины, приводящее к дребезгу.

На рис. 35,*е* видно, что от импульса к импульсу моменты замыкания и размыкания контактов не совпадают. Осциллограмма снята при условии синхронизации развертки осциллографа каждым импульсом. Такая картина говорит о дефекте привода, крепления контактов прерывателя или о качании оси распределителя.

Характер процессов, происходящих в интервале от момента окончания искрового разряда до замыкания контактов, позволяет судить о качестве первичной цепи. Этот интервал связан с рассеянием энергии в первичной цепи, и основными причинами отклонения формы напряжения от нормы здесь являются дефекты конденсатора или повышенное сопротивление первичной цепи (рис. 35,*з*).

Следует отметить, что в электронной системе зажигания форма напряжения на контактах прерывателя имеет почти прямоугольную форму (см. рис. 4,*б*), и осциллографическая индикация этого напряжения позволит судить лишь о регулировке контактов прерывателя и исправности цепи, в которую включен прерыватель. Диагностика электронной системы зажигания осуществляется по форме напряжения на первичной обмотке катушки зажигания (рис. 4,*б*) с помощью тех же осциллоскопических анализаторов зажигания, которые используются для электромеханических систем.

14. ОСЦИЛЛОСКОПИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ЗАЖИГАНИЯ

Применение прибора, позволяющего исследовать форму напряжения на контактах прерывателя автомобиля, значительно облегчает и упрощает работы, связанные с обслуживанием системы зажигания: контроль и регулировку системы, отыскание неисправностей. Эффективность такого прибора особенно очевидна, если учесть, что перебои в работе двигателей внутреннего сгорания в 80% случаев вызваны неисправностями в системе зажигания, а поиски неисправностей обычно производятся вслепую.

Специализированный осциллоскоп, предназначенный для наблюдения формы импульсов напряжения на контактах прерывателя двигателя внутреннего сгорания обычно называется анализатором зажигания. Его специфические особенности: ждущая развертка, упрощенная схема запуска, упрощенная схема усиления сигнала. Блок-схема анализатора зажигания приведена на рис. 36.

Импульс запуска развертки подается через схему запуска на генератор развертки. Пилообразное напряжение с генератора развертки после усиления усилителем используется для отклонения по

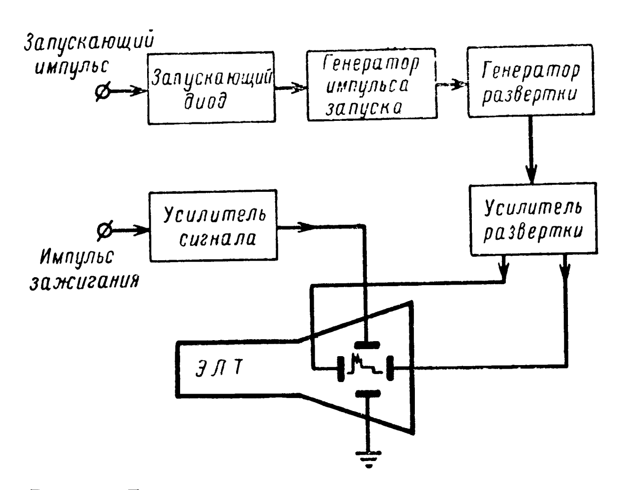


Рис. 36. Блок-схема осциллоскопического анализатора зажигания.

горизонтали луча электроннолучевой трубки. Импульс зажигания с контактов прерывателя подается на усилитель вертикального отклонения, а с него — на отклоняющие пластины трубки. Для получения развертки каждого импульса в отдельности длительность развертки выбирается не больше чем период повторения импульсов, величина которого обратно пропорциональна числу оборотов двигателя. Если система зажигания работает нормально, то все импульсы сливаются в единое изображение. При неисправностях в первичной цепи все импульсы также сливаются, однако форма их искажена. При неисправностях во вторичной цепи искажается форма лишь того импульса, который подключается распределителем к неисправной цепи. Для быстрого определения этой цепи удобно развернуть на экране анализатора всю последовательность импульсов—четыре импульса для четырехцилиндрового двигателя, шесть импульсов для шестицилиндрового и т. д. Тогда первым импульсом на развертке будет импульс того цилиндра, от которого производится запуск развертки. Порядок расположения следующих импульсов будет соответствовать порядку распределения зажигания между цилиндрами, установленному для данного двигателя. В этом случае легко определяется как номер цилиндра, цепь зажигания которого неисправна, так и причина неисправности (см. рис. 34 и 35).

Схема подключения анализатора зажиганий к системе зажигания двигателя показана на рис. 37. Сигнал запуска развертки берется с высоковольтного провода, соединяющего свечу с распределителем. При наблюдении импульса лишь в одном цилиндре запуск должен производиться от высоковольтного провода, подающего импульс на этот цилиндр. При развертке каждого импульса прерывателя для их сравнения запуск должен осуществляться от центрального провода распределителя.

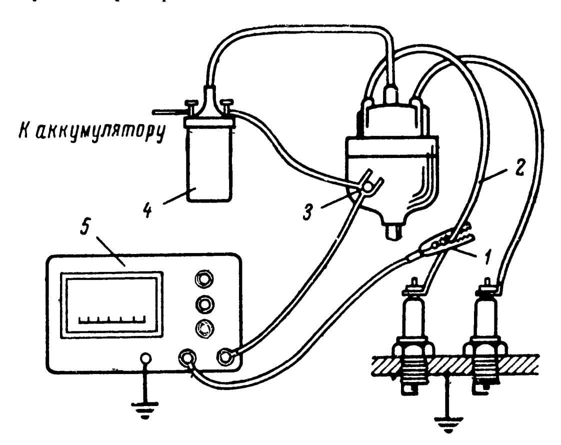


Рис. 37. Схема подключения анализатора к системе зажигания.

1 — зажим синхронизации; *2* — высоковольтный провод свечи; *3* — вывод от контакта прерывателя; *4* — катушка зажигания; *5* — анализатор зажигания.

В связи с тем, что амплитуда подводящегося к свече импульса достигает десятков киловольт, для получения запускающего импульса на зажиме анализатора достаточно очень слабой связи между этим зажимом и проводом, по которому проходит импульс. Практически достаточно емкостной связи, имеющей место между зажимом *1* запускающего провода и жилой высоковольтного провода *2*, когда зажим закреплен за внешнюю изоляцию этого высоковольтного провода.

Импульс прерывателя, подаваемый на сигнальный вход анализатора, снимается с зажима *3*, расположенного на корпусе прерывателя распределителя. Этот зажим служит для подсоединения к прерывателю первичной обмотки катушки зажигания *4*. Естественно. общий провод анализатора должен быть соединен с корпусом двигателя.

Принципиальная схема осциллоскопического анализатора зажигания, выполненного на электронных лампах, приведена на рис. 38.

Импульсный сигнал с контактов прерывателя через гнезда $Г_2$ поступает на сетку однокаскадного усилителя на половине лампы $Л_5$. В связи с тем, что амплитуда импульса на контактах прерывателя достигает нескольких десятков вольт, требуется лишь незначительное дополнительное усиление сигнала для получения нормаль-

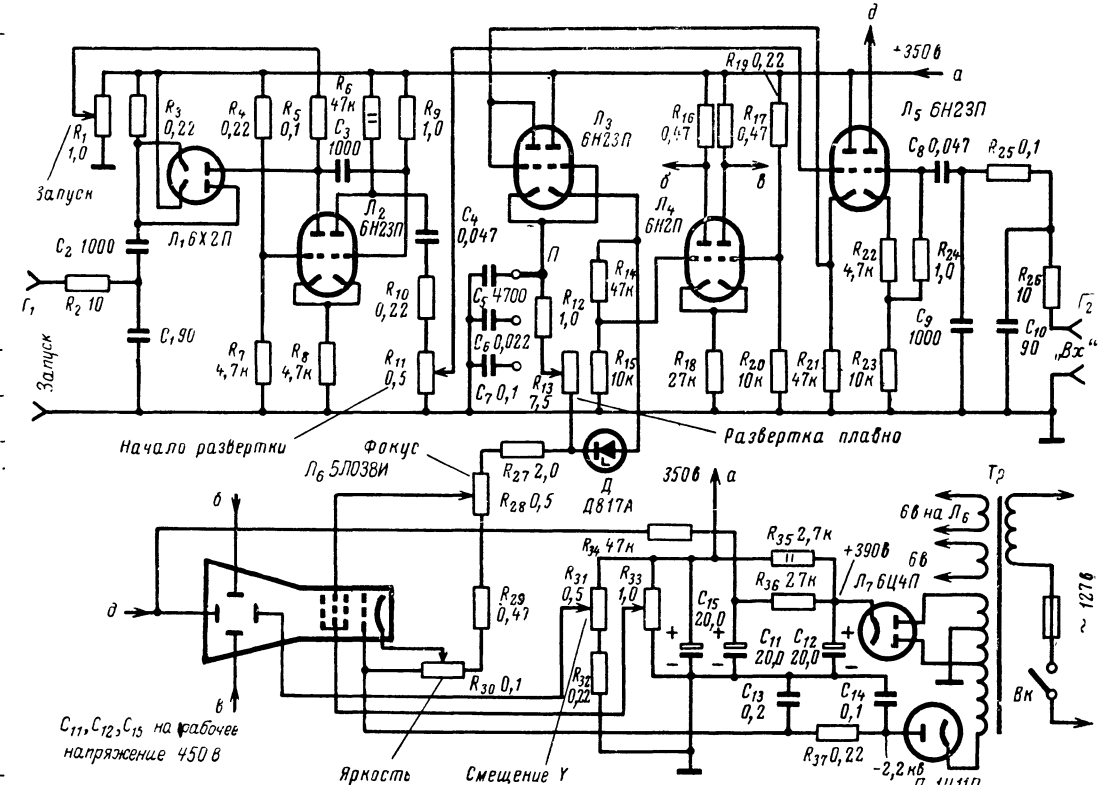


Рис. 38. Принципиальная схема осциллоскопического анализатора зажигания.

ного отклоняющего напряжения. Отрицательная обратная связь (резистор R_{23}) ограничивает усиление этого каскада. В отличие от обычных осциллографов в анализаторе нет необходимости в широкой полосе пропускания усилителя сигнала, что позволяет применить простую схему усиления без компенсации частотных искажений.

Резистор R_{22} предназначен для создания напряжения смещения Нагрузкой усилителя служит резистор R_{34}, напряжение с которого подается на вертикально отклоняющую пластину *д* электроннолучевой трубки $Л_6$. Цепь $R_{26}C_{10}$ является фильтром низких частот и предназначена для сглаживания резких выбросов.

Блок разверток собран на лампах $Л_1$—$Л_4$ и половине $Л_5$. Высоковольтный импульс напряжения, который вызывает искру в свече зажигания, подается на гнезда $Г_1$. Через фильтр низких частот R_2C_1 этот импульс поступает на запускающий диод $Л_1$. Положительные выбросы через нижнюю (по схеме) половину диода и низкоомный источник высокого напряжения замыкаются на общий провод. Отрицательные выбросы через верхнюю половину диода поступают на анод левой половины лампы $Л_2$, входящей в схему одновибратора. Амплитуда проходящих через диод импульсов регулируется путем изменения подаваемого на анод диода напряжения (потенциометром R_1).

Отрицательный запускающий импульс через конденсатор C_3 проходит на сетку правого триода лампы $Л_2$ и запирает его, переводя одновибратор в неустойчивое состояние. Длительность этого состояния, как и длительность соответствующего положительного импульса на аноде правого триода $Л_2$, определяется постоянной времени цепи R_9C_3 и не зависит от амплитуды запускающего импульса.

Широкий положительный импульс с анодной нагрузки R_6 одновибратора через конденсатор C_4 и делитель напряжения $R_{10}R_{11}$ поступает на сетку левого триода лампы $Л_5$, включенного по схеме катодного повторителя. Катодный повторитель предназначен для развязки одновибратора от генератора развертки на лампе $Л_3$. С катодного повторителя положительный импульс поступает через левую половину двойного триода $Л_3$ на заряд времязадающих конденсаторов C_5—C_7.

Длительность развертки выбирается с помощью переключателя *П*. Постоянные времени разряда конденсаторов определяются также сопротивлениями резисторов R_{12} и R_{13}. С помощью переменного резистора R_{13} можно плавно изменять скорость развертки. Амплитудой положительного импульса, подаваемого на заряд конденсатора, определяется начальный уровень напряжения, от которого начинается развертка. Изменение этого уровня достигается регулировкой амплитуды положительного импульса с помощью резистора R_{11} *Начало развертки.*

Для формирования линейной развертки конденсатор должен разряжаться с постоянной скоростью, что достигается стабилизацией падения напряжения на разрядном резисторе с помощью стабилитрона *Д*, включенного параллельно разрядным резисторам R_{12}, R_{13}. Таким образом, независимо от полного напряжения на конденсаторе напряжение на разрядном резисторе всегда равно 50—60 *в* и ток разряда постоянен.

Постоянная времени разряда выбирается такой, чтобы период запускающих импульсов от системы зажигания был меньше длительности линейного участка развертки.

Линейно убывающее напряжение с зарядного конденсатора поступает на сетку катодного повторителя (правый триод лампы $Л_3$). С катодного резистора R_{15} напряжение развертки поступает на усилитель напряжения (левый триод лампы $Л_4$), а с его анодной нагрузки (резистор R_{16}) — на пластину горизонтального отклонения *б* электроннолучевой трубки. Одновременно напряжение развертки с катодного резистора R_{18} лампы $Л_4$ поступает на катод правого триода лампы $Л_4$. Этот триод работает по схеме с общей сеткой, так что напряжение на его анодной нагрузке R_{17} противоположно по фазе напряжению на резисторе R_{16}. С резистора R_{17} напряжение развертки поступает на горизонтальную отклоняющую пластину в электроннолучевой трубке. Напряжение смещения на сетку правого триода лампы $Л_4$ подается с делителя $R_{19}R_{20}$. Таким образом, горизонтальное перемещение луча осуществляется противофазным напряжением развертки, поступающим на пластины *б* и *в* электроннолучевой трубки, синхронно с импульсами запуска.

Скорости развертки выбраны такими, чтобы при минимальной скорости была возможна развертка последовательности импульсов шестицилиндрового двигателя при его работе на холостом ходу, т. е. при скорости 400 *об/мин*. При максимальной скорости развертки можно наблюдать на экране анализатора одиночный импульс зажигания при скоростях 7 500 *об/мин* для четырехцилиндрового двигателя, 5 000 *об/мин* для шестицилиндрового двигателя и 3 750 *об/мин* для восьмицилиндрового двигателя. При промежуточных положениях переключателя *П* можно наблюдать все прочие случаи: от одиночного импульса при минимальных оборотах до последовательности импульсов при 7 500 *об/мин*.

Для удобства работы с анализатором целесообразно использовать маску, накладываемую на экран анализатора. Маской служит пластинка из органического стекла, на которую нанесены очертания импульса зажигания, характерного для нормально отрегулированной системы зажигания. После запуска исследуемого двигателя и выведения его на заданный режим с помощью переключателя *П* и резистора R_{13} регулировкой *Скорость развертки* совмещают изображение импульса на экране анализатора с изображением на маске. Отклонения формы импульса от изображения на маске позволяют судить о неисправностях системы зажигания. По изображению регулируется также зазор контактов прерывателя (путем приведения времени замыкания контактов в соответствие с изображенной на маске шкалой).

15. АНАЛИЗАТОР ЗАЖИГАНИЯ СО СТРЕЛОЧНОЙ ИНДИКАЦИЕЙ

Одним из основных достоинств анализатора зажигания является возможность непосредственного контроля параметров системы зажигания при работе ее в реальных условиях — при быстром наборе скорости, больших нагрузках, максимальных оборотах вала двигателя и всех переходных режимах. Без использования анализатора такой контроль неосуществим. Часть задач, возложенных на анализатор, может быть решена с помощью описанного ниже простого прибора-анализатора со стрелочной индикацией, для питания которого используется аккумуляторная батарея автомобиля.

Анализатор позволяет контролировать качество работы свечей зажигания, конденсатора, катушки зажигания, контактов прерывателя и соединяющих проводов. В качестве индикатора в анализаторе использован гальванометр.

Принципиальная схема анализатора зажигания, являющегося практически специализированным гальванометром, приведена на рис. 39. На гнездо $Г_1$ анализатора подается сигнал с одного из высоковольтных проводов системы зажигания. Полупроводниковый диод $Д_1$ шунтирует отрицательные выбросы входного сигнала, не используемые в приборе Резистор R_1 предназначен для восстанов-

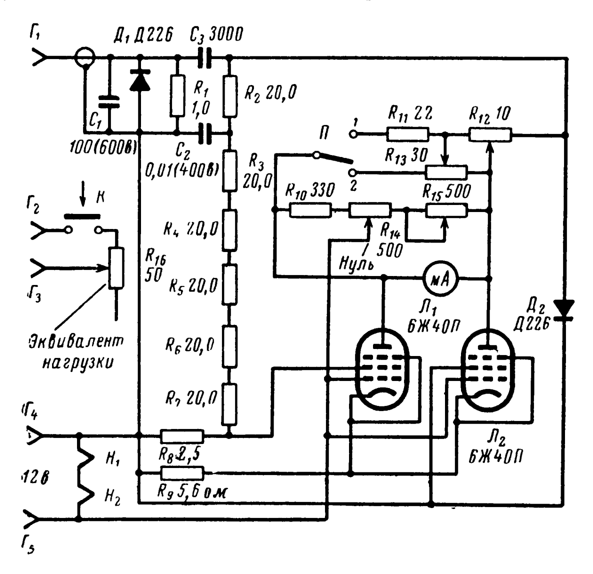


Рис. 39. Принципиальная схема стрелочного анализатора зажигания.

ления постоянной составляющей. Положительные импульсы через конденсатор C_3 поступают на схему измерителя и детектируются диодом $Д_2$. Постоянное напряжение с резистора R_8, являющегося частью делителя напряжения на резисторах R_2—R_8, подается на сетку лампы $Л_1$, находящейся в одном из плеч измерительного моста. Другое плечо моста образовано лампой $Л_2$. Напряжение ее антидинатронной сетки, управляющей током лампы, равно нулю. Управляющие сетки обеих ламп имеют постоянное напряжение смещения.

Два других плеча моста образованы резисторами R_{10}, R_{13} и R_{14}. Резистор R_{13} используется для симметрирования моста, и его сопротивление подбирается при регулировке. С помощью резистора R_{14} осуществляется установка нуля балансного моста

В диагональ моста включен измерительный гальванометр со шкалой на 500 *мка*. Описываемый прибор двухшкальный. Изменение чувствительности осуществляется путем подключения с помощью

переключателя $П$ параллельно гальванометру шунтирующих резисторов R_{11}, R_{12} (положение *1*) и резистора R_{13} (положение *2*).

Лампы $Л_1$ и $Л_2$ работают при анодном напряжении 12 *в*. Нити накала ламп $Н_1$ и $Н_2$ включаются последовательно и питаются непосредственно от аккумулятора, подключаемого к гнездам $Г_4$ и $Г_5$.

Для имитации повышенной нагрузки двигатели при регулировке системы зажигания в гараже в анализатор входит цепь эквивалентной нагрузки, состоящая из резистора R_{16} и кнопки $К$. Цепь соединена с гнездами $Г_2$ и $Г_3$ прибора.

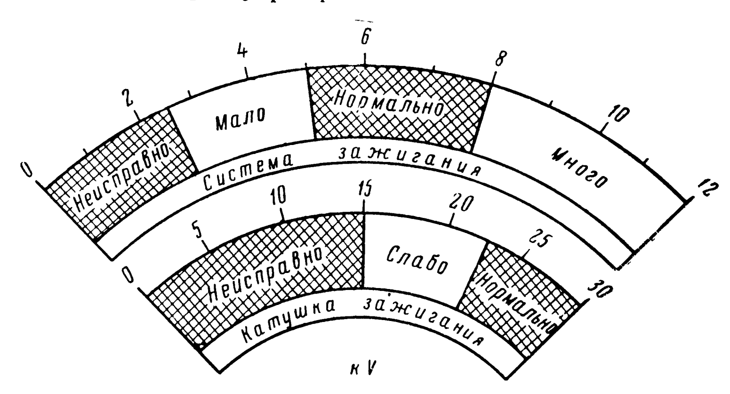


Рис. 40. Шкала гальванометра анализатора зажигания.

На рис. 40 показана шкала гальванометра-анализатора. Положениям *1* и *2* переключателя $П$ (на рис. 39) соответствуют два рода работы анализатора. В положении *1* переключателя анализатор предназначен для проверки работы элементов системы зажигания: свечей, контактов прерывателя, конденсатора. Отсчеты в этом режиме производятся по верхней шкале. В положении *2* переключателя по нижней шкале производят определение качества работы катушки зажигания. Когда переключатель рода работы поставлен в положение *1*, гальванометр зашунтирован резисторами R_{11}, R_{12}. Зажим провода, по которому сигнал подается на гнездо $Г_1$, укрепляют на изоляции высоковольтного ввода свечи, качество работы которой должно быть проверено. При работе двигателя на холостом ходу, если свеча и другие элементы исправны, стрелка гальванометра должна находиться в пределах сектора *Нормально*. Это положение стрелки соответствует напряжению на приборе 5—8 *кв*.

Положение стрелки в пределах сектора *Мало* (что соответствует напряжению сигнала от 2,5 до 5 *кв*) говорит о возможной неисправности конденсатора или контакта прерывателя. Если стрелка показывает менее 2,5 *кв*, то это означает неисправность или загрязнение свечи. Отклонение стрелки индикатора в сектор *Много* указывает на отсутствие искрового разряда в зазоре свечи. Это бывает, когда зазор очень велик или оборван подводящий провод.

Для проверки качества работы катушки зажигания зажим провода, подводящего сигнал к гнезду $Г_1$, укрепляют на изоляции высоковольтного провода зажигания, соединяющего центр распределителя с катушкой зажигания Переключатель рода работ перево-

дят в положение 2. Зажимы $Г_2$, $Г_3$ прибора соединяют с выводами первичной обмотки катушки зажигания автомобиля. Движок резистора R_{16} («нагрузка») устанавливают в среднее положение. При работе двигателя на холостом ходу, если катушка зажигания исправна, стрелка индикатора должна находиться в пределах сектора *Нормально* (напряжения от 23 до 30 *кв*). Эквивалент нагрузки при этом измерении не подключается. Если параметры катушки ухудшены, то индикатор показывает напряжение от 15 до 23 *кв* (стрелка в пределах сектора *Слабо*). При неисправной катушке выходное напряжение не превышает 15 *кв* (сектор *Неисправно*). Затем нажатием кнопки *К* подключают эквивалент нагрузки. При этом положение стрелки прибора изменяется. Поворачивая ручку потенциометра R_{16} добиваются, чтобы стрелка прибора установилась в положение, которое она занимала до подключения эквивалентной нагрузки. Чем большему делению шкалы *Эквивалент нагрузки* соответствует в этом случае положение ручки потенциометра R_{16}, тем больший запас энергии в катушке зажигания.

16. ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УГЛА ЗАМЫКАНИЯ КОНТАКТОВ ПРЕРЫВАТЕЛЯ

Одним из основных условий четкой работы системы зажигания автомобиля является правильный подбор угла, на который проворачивается кулачок прерывателя, когда контакты прерывателя замкну-

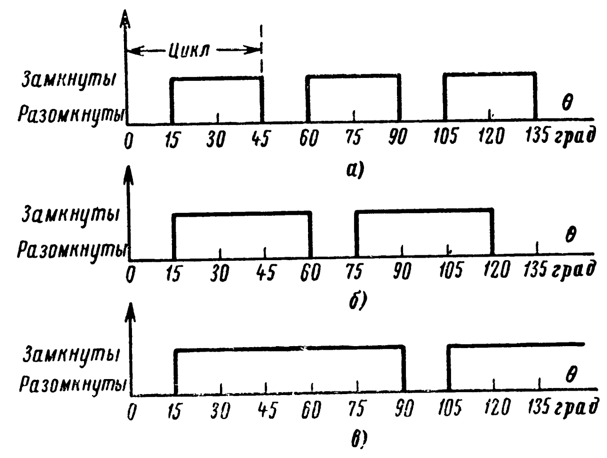


Рис. 41. Диаграммы работы контактов прерывателя восьмицилиндрового (*а*), шестицилиндрового (*б*) и четырехцилиндрового (*в*) двигателей.

ты. На рис. 41,*а* показана диаграмма работы контактов прерывателя восьмицилиндрового двигателя. За полный оборот вала распределителя контакты прерывателя должны разомкнуться 8 раз, поэтому цикл работы контактов прерывателя на одну свечу соответствует углу поворота вала распределителя, равному 45°, при этом в секто-

ре, равном 15°, контакты прерывателя разомкнуты, а в секторе 30°— замкнуты.

Угол поворота вала распределителя, в котором контакты прерывателя разомкнуты, определяет длительность искры зажигания. При уменьшении этого угла уменьшается длительность искры, что сопровождается неполным сгоранием горючей смеси и потерей мощности двигателя.

Угол поворота вала распределителя, в котором контакты прерывателя замкнуты, определяет энергию, запасенную катушкой зажигания. При уменьшении этого угла и больших оборотах вала рас-

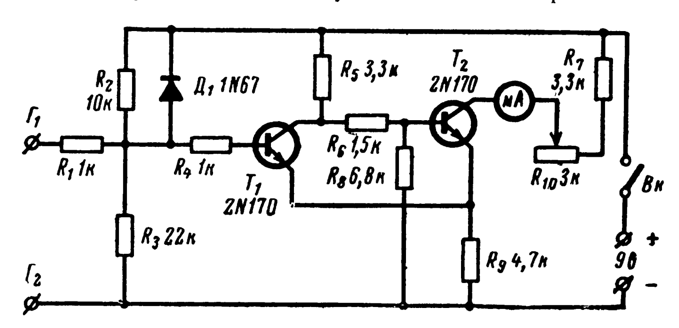


Рис. 42. Принципиальная схема прибора для измерения угла замыкания контактов прерывателя.

пределителя ток в катушке зажигания не успевает нарасти до максимального значения, что сопровождается уменьшением энергии искры зажигания, неполным сгоранием горючей смеси и уменьшением мощности двигателя.

Регулировка соотношения углов поворота вала распределителя, внутри которых происходит замыкание и размыкание контактов прерывателя, является основной задачей периодического обслуживания системы зажигания. Обычно эта регулировка заключается в установке необходимого зазора между контактами прерывателя при неработающем двигателе, когда контакты разомкнуты кулачком прерывателя. Однако из-за того, что поверхность контактов загрязняется и становится неровной, а также из-за грубости регулировочного винта ошибка в установке зазора между контактами прерывателя может привести к ошибке установки угла размыкания до 5°. Кроме того, за счет различной формы кулачков углы размыкания могут изменяться от цилиндра к цилиндру в работающем двигателе.

Контроль качества регулировки прерывателя при работающем двигателе можно осуществить с помощью измерительного прибора, принципиальная схема которого приведена на рис. 42. Как следует из рис. 41, при правильной регулировке зазора отношение времени, в течение которого контакты прерывателя замкнуты, ко времени, в течение которого они разомкнуты, составляет $^1/_3$ для восьмицилиндрового двигателя $^1/_4$ для шестицилиндрового и т. д. Измерение соотношения этих интервалов и положено в основу работы прибора.

Напряжение с контактов прерывателя подается на гнезда $Г_1$ и $Г_2$. Прямоугольные импульсы через резисторы R_1 и R_4 поступают на амплитудный компаратор, собранный на транзисторах T_1 и T_2. В исходном состоянии транзистор T_1 отперт напряжением смещения,

подаваемым на его базу с делителя R_2R_3. С коллекторной нагрузки R_5 транзистора T_1 через делитель R_6R_8 напряжение подается на базу транзистора T_2. Параметры делителя R_6R_8 подобраны так, что напряжение на базе транзистора T_2 ниже, чем напряжение на его эмиттере. Транзистор T_2 заперт, и стрелка миллиамперметра в его коллекторной цепи находится на нулевом делении.

Стабилитрон $Д_1$ предотвращает поступление на базу транзистора T_1 импульсов напряжений более 9 *в*.

При замыкании контактов прерывателя резистор R_1 включается параллельно резистору R_3, при этом напряжение смещения на базе

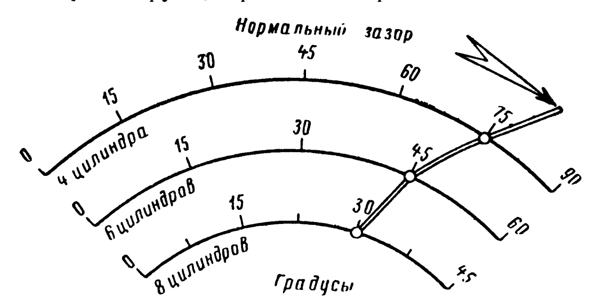


Рис. 43. Шкала прибора для измерения угла замыкания контактов прерывателя.

транзистора T_1 уменьшается. Транзистор T_1 запирается, результирующее напряжение на его коллекторе увеличивается, что приводит к отпиранию транзистора T_2. Резистор R_7 предназначен для ограничения коллекторного тока, а с помощью переменного резистора R_{10} коллекторный ток подбирается таким, чтобы он не превышал тока полного отклонения стрелки прибора. Кроме того, с помощью резистора R_7 можно исключить влияние изменения напряжения питания прибора на результат измерения. При последующем размыкании контактов прерывателя триггер возвращается в исходное состояние.

Таким образом, при работающем двигателе триггер работает синхронно с контактами прерывателя, причем среднее значение тока, протекающего в коллекторной цепи транзистора T_2, пропорционально соотношению периодов замыкания и размыкания или зазору между контактами для двигателя с определенным числом цилиндров. Если зазор равен нулю (контакты всегда замкнуты), то средний ток наибольший. При восьмицилиндровом двигателе это соответствует углу размыкания 0°. Если зазор соответствует углу размыкания 45°, то средний ток равен нулю, так как контакты всегда разомкнуты. Все промежуточные значения среднего тока пропорциональны углу замыкания, поэтому миллиамперметр может быть откалиброван прямо в значениях угла замыкания контактов. Если для восьмицилиндрового двигателя полная шкала составляет 45°, то для шестицилиндрового она равна 60°, а для четырехцилиндрового двигателя — 90°.

Шкала прибора, предназначенного для измерения угла замыкания контактов прерывателя в двигателях с разным количеством

цилиндров, показана на рис. 43 Так как триггер надежно переключается при перепаде входного напряжения больше 1 *в*, прибор может быть использован для работы с автомобилями, напряжение аккумулятора которых равно как 6, так и 12 *в*.

Перед измерением должна производиться калибровка прибора. Для этого на прибор подают напряжение питания, замыкают накоротко его входные гнезда $Г_1$ и $Г_2$ (рис. 42), поворачивая ось потенциометра R_{10}, устанавливают стрелку прибора на максимальное деление шкалы, соответствующее наибольшему углу замыкания. После этого выводы контактов прерывателя подключают (параллельно конденсатору зажигания) к гнездам $Г_1$ и $Г_2$ и по шкале миллиамперметра производится отсчет угла замыкания контактов.

17. ТРАНЗИСТОРНЫЙ ТАХОМЕТР

Для правильной оценки качества регулировки системы зажигания при различных режимах работы двигателя необходим прибор, позволяющий непосредственно измерять скорость вращения вала двигателя. Таким прибором является тахометр. На рис. 44 приве-

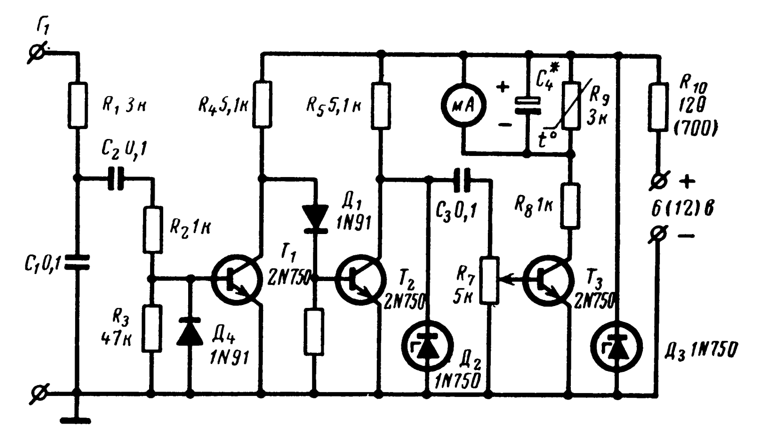


Рис. 44. Принципиальная схема транзисторного тахометра.

дена принципиальная схема тахометра на транзисторах, точность которого практически достаточна для любых работ.

В схеме тахометра приняты меры для компенсации дестабилизирующих факторов с тем, чтобы точность измерения числа оборотов вала двигателя была не ниже 5%. Работа прибора основана на известном принципе измерителя частоты повторения импульсов — измерении среднего тока в цепи коллектора транзистора при воздействии на него стандартных импульсов, следующих с измеряемой частотой повторения

На вход тахометра (гнездо $Г_1$) подается напряжение с контактов прерывателя. Очевидно, что частота повторения импульсов напряжения на контактах прерывателя пропорциональна скорости двигателя.

С контактов прерывателя импульс зажигания поступает на базу транзистора T_1 через фильтрующую цепь $R_1R_2R_3C_1C_2$, которая устраняет высокочастотные искажения импульса. Диод $Д_4$ предназначен для предохранения перехода эмиттер — база транзистора T_1 от отрицательных бросков напряжения. Когда напряжение на входе усилителя отсутствует, база транзистора T_1 имеет нулевой потенциал по отношению к эмиттеру. Падение напряжения на резисторе R_4 коллекторной нагрузки транзистора равно нулю, и через диод $Д_1$, включенный в прямом направлении, на базу транзистора T_2 поступает положительное напряжение смещения. Сопротивление резистора R_4 выбрано таким, что протекающий через него на базу транзистора T_2 ток обеспечивает его насыщение. При этом остаточное напряжение на коллекторе транзистора T_2 равно 0,5 *в*.

При поступлении на гнездо $Г_1$ положительного импульса транзистор T_1 отпирается. При превышении входным импульсом напряжения 4 *в* транзистор T_1 переходит в режим насыщения. При этом сопротивление промежутка эмиттер — коллектор транзистора T_1 резко падает, напряжение на базе транзистора T_2 уменьшается, он запирается, и напряжение на его коллекторе достигает напряжения источника питания.

Время переключения транзистора T_2 в запертое состояние практически не зависит от времени нарастания входного импульса зажигания, что исключает зависимость показаний прибора от формы импульса зажигания.

Для исключения влияния на показания прибора амплитуды импульса зажигания транзисторы T_1 и T_2 работают в режиме насыщения, т. е. перепад напряжения на коллекторной нагрузке R_5 постоянен при любых значениях входного сигнала, превышающего заданный порог.

Введение стабилитрона $Д_2$ исключает изменение амплитуды выходного импульса, подаваемого на миллиамперметр при колебаниях напряжения, питающего прибор. Стабилизированный по амплитуде импульс поступает на дифференцирующую цепь C_3R_7, параметры которой выбраны такими, что длительность импульса на выходе этой цепи не зависит от длительности входного импульса, что предотвращает появление ошибки измерения при изменениях длительности импульса зажигания

Положительные импульсы с фиксированной амплитудой и длительностью, период повторения которых пропорционален скорости двигателя, поступают с резистора R_7 на базу транзистора T_3, в коллекторную цепь которого включен миллиамперметр. Вследствие инерционности механической системы миллиамперметра, а также интегрирующего действия конденсатора C_4 миллиамперметр реагирует на среднее значение тока, протекающего в коллекторной цепи транзистора T_3, которое пропорционально частоте повторения импульсов зажигания.

При увеличении температуры окружающей среды коэффициент усиления транзистора T_3 изменяется и увеличивается погрешность измерений. Компенсация температурной ошибки осуществляется терморезистором R_9 с отрицательным температурным коэффициентом. С увеличением температуры его сопротивление уменьшается и шунтирует обмотку миллиамперметра, снижая его чувствительность.

Стабилитрон $Д_3$ предназначен для стабилизации напряжения питания прибора. Балластный резистор R_{10} должен иметь различное

сопротивление при напряжении аккумуляторной батареи 6 или 12 *в*. Сопротивления этого резистора при напряжении батареи 12 *в* приведено на рис. 44 в скобках.

Для калибровки прибора может быть использовано напряжение синусоидальной или прямоугольной формы от любого генератора. При произвольном значении частоты повторения, амплитуду подаваемого на вход сигнала следует увеличивать до тех пор, пока показания миллиамперметра не перестанут изменяться. Затем частоту повторения импульсов устанавливают такой, чтобы отклонение стрелки прибора было максимальным, что соответствует максимальному числу оборотов вала двигателя. Эта частота различна для двигателей с разным количеством цилиндров и тактов и может быть для каждого конкретного типа четырехтактного двигателя определена по формуле:

$$F_n = \frac{n_м N}{120},$$

где $n_м$ — максимальное значение скорости вращения вала двигателя, *об/мин*;

N — количество цилиндров двигателя.

При изменении напряжения от 5,7 до 7 *в*, а также в диапазоне температур от 0 до 50° С ошибка измерения не превышает 5%. Прибор потребляет ток 100 *ма*.

В схеме применены транзисторы типа *n-p-n*, имеющие коэффициент усиления по току $\beta = 20$. Диоды $Д_1$ и $Д_4$ имеют пробивное напряжение не менее 50 *в*. Стабилитроны $Д_2$ и $Д_3$ с напряжением стабилизации 4,7 *в* имеют допустимую мощность рассеяния не менее 400 *мвт*. Терморезистор имеет ТКС-0,04. Емкость конденсатора C_4 от 20 до 200 *мкф* при рабочем напряжении 15 *в*.

ЛИТЕРАТУРА

Журавлев А. А., Мазель К. Б., Преобразователи постоянного напряжения на транзисторах, Госэнергоиздат, 1960.

Справочник по электронным приборам, «Техника», Киев, 1966.

Коссов О. А., Усилители мощности на транзисторах в режиме переключений, «Энергия», 1964.

Глезер Г. Н., Опарин И. М., Хейман Э. Л., Электронные системы зажигания автомобилей, «Машиностроение», 1967.

Новая система зажигания для автомобилей, Электроника 1966, № 10.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Параметры некоторых катушек зажигания

Тип катушки	Устанавливается на автомобиле	Вторичная обмотка		Первичная обмотка			Вариатор	
		Провод	Число витков	Провод	Число витков	Сопротивление, *ом*	Материал провода	Сопротивление, *ом*
Б-1	ГАЗ-53Ф ЗИЛ-164 ГАЗ-51А	ПЭЛ 0,1	19 000	ПЭЛ 0,72	330	1,95	Ст. 0	1,5—1,35
Б-1, малогабаритная	«Победа М-20» «Москвич-407» ЗИЛ-158 «Волга М-21»	ПЭЛ 0,09	17 500	ПЭЛ 0,77	320	—	Никель	1,35—1,45
Б-13, маслонаполненная	ЗИЛ-130 ЗИЛ-111 ГАЗ-53 ГАЗ-66	ПЭЛ 0,07	26 000	ПЭЛ 0,72	270	1,5	Никель	1,0—1,1
Б-102Б, маслонаполненная	ЗИЛ-131 «Урал-375»	ПЭВ 0,07	18 000	ПЭВ 0,86	290	—	Константан	—
Б-114, маслонаполненная	—	—	41 500	—	180—190	0,4	„	0,52—0,52

Цена 19 коп.